UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

Année 1972

N° d'Ordre : 4

LE PROBLEME DE L'EAU POTABLE EN REPUBLIQUE DU MALI

THESE

présentée
à l'Unité d'Enseignement et de
Recherche des Sciences Pharmaceutiques
et Biologiques
pour obtenir le titre de
DOCTEUR D'UNIVERSITE EN PHARMACIE

par

Monsieur SIMAGA Mamadou
né à SEGOU (Mali)

---

soutenue publiquement le 5 Octobre 1972 devant la Commission d'Examen :

MM. A. COEUR Président
A. BOUCHERLE
P. AMBROISE-THOMAS
Mle J. ALARY

UNIVERSITE SCIENTIFIQUE
ET MEDICALE DE GRENOBLE

Année 1972

N° d'Ordre :

LE PROBLEME DE L'EAU POTABLE EN REPUBLIQUE DU MALI

THESE

présentée

à l'Unité d'Enseignement et de

Recherche des Sciences Pharmaceutiques

et Biologiques

pour obtenir le titre de

DOCTEUR D'UNIVERSITE EN PHARMACIE

par

Monsieur SIMAGA Mamadou

né à SEGOU (Mali)

---

soutenue publiquement le 5 Octobre 1972 devant la Commission d'Examen :

MM. A. COEUR Président

A. BOUCHERLE

P. AMBROISE-THOMAS

Mle J. ALARY

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A LA MEMOIRE DE MON PERE

Sa vie a été un exemple de courage et de dévouement et restera pour ses enfants un idéal à atteindre.

A MA MERE

En témoignage de mon affection et de ma reconnaissance.

A MA FEMME et à NOS ENFANTS
Djénéba, Oumou Dili, Nana Kadidia et Néné Satourou

En gage d'amour et de profonde affection.

A MES FRERES et SOEURS

En remerciement de l'affection qu'ils me portent.

A MES BEAUX-PARENTS

En témoignage de ma profonde gratitude.

A MES ONCLES et TANTES.

A TOUTE MA FAMILLE.

A TOUS MES AMIS

A TOUS LES MIENS

En témoignage de ma profonde affection.

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur A. COEUR

Professeur de Pharmacie Chimique et Chimie Analytique.

La franche cordialité avec laquelle il nous a reçu il y a 12 ans dans cette Faculté nous aida beaucoup à mener à bien nos études. Plus que quiconque, il a compris que l'essentiel pour nous, étudiants africains, n'est pas ce que la France aura fait de nous, médecins, pharmaciens..., mais ce que nous pourrons réaliser de retour en Afrique, avec nos diplômes.

Cette chaleur bienveillante, dont il n'a cessé de nous entourer, nous a donné confiance en nous dans la recherche de solutions aux multiples problèmes que le sous-développement pose à nos jeunes Etats.

En plus de la discipline scientifique qu'il nous a enseignée, nous avons appris auprès de lui que la bonté de coeur et le bienfait désintéressé sont les seuls qui aient une réelle signification dans les relations humaines

Les mots ne sauraient traduire notre admiration et notre profonde gratitude pour tout ce qu'il a fait pour nous.

AUX MEMBRES DE NOTRE JURY

Monsieur le Professeur A. BOUCHERLE
Professeur de Chimie et Toxicologie.

Il restera toujours pour nous cet admirable Professeur à l'enseignement clair et complet, cet homme de grande valeur et pourtant exemple de modestie et de respect humain.

Qu'il trouve ici le témoignage de notre réelle admiration.

Monsieur P. AMBROISE-THOMAS
Maître de Conférences Agrégé de Parasitologie.

Il nous a beaucoup apporté dans ce travail, en nous faisant bénéficier de sa profonde connaissance des maladies tropicales.

Nous le remercions vivement d'avoir bien voulu accepter de faire partie de notre Jury.

Mademoiselle J. ALARY
Maître de Conférences Agrégée de Chimie Analytique.

Nous garderons toujours d'elle le souvenir de la clarté avec laquelle elle nous a donné le goût du travail bien fait.

Nous la prions de trouver ici l'expression de notre profonde gratitude.

A Monsieur le Professeur M. SANKALE

Doyen de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de DAKAR

En témoignage d'admiration et de gratitude.

A Monsieur le Professeur M. ATTISSO

Premier Assesseur du Doyen de la Faculté de Médecine et de Pharmacie de DAKAR, Membre de l'Académie française de Pharmacie

En témoignage de ma profonde gratitude.

A Monsieur le Professeur O. SYLLA

Professeur de Chimie Organique et de Pharmacie Chimique à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de DAKAR

Pour lui exprimer ma reconnaissance et ma profonde admiration.

Au Docteur DAOUDA KEITA, Directeur Général de la Santé,

Au Directeur Général THIAM, de l'énergie du Mali,

Au Directeur LAMINE KEITA, du service hydraulique du Mali,

En remerciement pour leur grande participation à ce travail et en témoignage d'admiration d'un cadet pour ses aînés.

A Monsieur BIRON, mon Maître de stage,

A Monsieur JOUFFRE, qui m'apprit tant,

Avec ma profonde gratitude.

A tout le Personnel de la Compagnie AIR-MALI et tout particulièrement à Monsieur BOUBACAR COULIBALY, Directeur commercial de cette Société, pour tout l'effort qu'il n'a cessé de fournir, afin de me faire parvenir rapidement les échantillons d'eau prélevée.

A mes collègues et amis, Pharmaciens et Médecins de l'Université de DAKAR

En souvenir de nos années d'assistanat.

A Monsieur J.Y. CALOP, Assistant à la Faculté de Médecine et de Pharmacie de GRENOBLE

Pour ses services si spontanés et si constructifs.

A tout le personnel des Laboratoires de Pharmacie Chimique des Facultés de DAKAR et de GRENOBLE dont le concours m'a été très précieux au cours de ce travail.

A Messieurs CAMARA et DIOUF, techniciens au Laboratoire de la compagnie sénégalaise des eaux,

Pour leur dévouement à contrôler mes résultats.

S O M M A I R E

Notre étude porte sur le problème de l'alimentation en eau potable des populations citadines et rurales de la République du Mali.

Après un large historique du rôle de l'eau au cours des temps dans la vie des populations maliennes, nous avons divisé notre travail en 5 chapitres :

- Le Chapitre I

Traite brièvement de l'hydrogéologie et fait le point des différentes ressources en eau du Mali.

- Le Chapitre II

Résume les données générales sur les Normes Internationales de potabilité de l'eau de boisson.

- Le Chapitre III

Etudie les caractéristiques du réseau d'adduction en eau potable existant au Mali.

- Le Chapitre IV

Traite de l'importance des maladies d'origine hydrique au Mali.

- Le Chapitre V

Renferme les résultats d'analyses physico-chimiques de l'eau de BAMAKO et d'autres points importants.

- Le Chapitre VI (Perspectives générales)

Fait quelques suggestions sur le choix des moyens généraux de lutte contre la souillure bactériologique des eaux d'alimentation.

I N T R O D U C T I O N

"L'eau est le meilleur de tous les dons, plus précieux que l'or qui brille comme un feu dans la nuit".

Cette phrase du poète lyrique grec PINDARE (1) du Vème siècle avant J.C. montre que le problème de l'eau a toujours été le plus grand souci de l'humanité à travers l'histoire. Aujourd'hui encore, il demeure, tant pour les pays riches que pour les pays en voie de développement, le problème principal auquel il est urgent de faire face et qui devrait trouver rapidement sa solution.

La rationalisation de l'utilisation de l'eau, une étude plus poussée de l'hydrologie dans le domaine analytique, le problème de l'irrigation, posent non seulement la question de la qualité mais aussi celle de la quantité de l'eau dont l'humanité a besoin.

En Afrique particulièrement, ce sont là des facteurs clefs dans le développement futur socio-économique des divers pays.

Pour nous Africains, dans bien de nos traditions, l'eau n'est pas considérée seulement comme une substance naturelle, elle a pour beaucoup d'entre nous, une origine quasi-mystique et passe pour être avant tout un don de Dieu ou des génies et ne peut donc pas être cause de maladies. C'est pourquoi d'ailleurs beaucoup de nos masses africaines comprennent mal que l'Etat puisse faire payer l'eau dans ses réseaux de distribution.

Dans le cas particulier du Mali, pays pour le moment à vocation essentiellement agricole, l'économie se trouvant assujettie aux pluies, l'eau a une importance spéciale pour le paysan. Si l'eau a occupé de tout temps la

---

(1) PINDARE (1ère olympiade Ode 1/5) d'après Van RIEL. L'eau en milieu rural centrafricain. Ed. Académie royale des Sciences d'Outre-Mer (classe des Sciences naturelles et médicales N.S. XVI-I) Bruxelles 1964.

première place dans l'histoire de notre pays, elle conditionne toujours son développement actuel.

En effet le réseau hydrologique a déterminé la répartition des habitants qui se concentrent surtout le long des fleuves ou, dans les zones désertiques, autour des points d'eau ou oasis.

Si le manque d'eau a eu pour conséquence l'abandon de milliers d'hectares sans vie, il a été en retour, la cause de la formation de l'état malien. En effet, si ce pays a été successivement le berceau de plusieurs empires (Ghana-Mali-Songhoï) ou royaumes de grande civilisation (Macina)(1) on peut affirmer que les différents souverains qui se sont succédés, s'ils étaient d'ethnies différentes, n'ont pas moins régné sur un seul peuple et non sur des tribus, car le réseau fluvial a brassé les ethnies en un seul peuple unifié : ainsi, qui possédait le fleuve Niger possédait ses peuples riverains, quels que soient leurs races, leurs dialectes.

Par suite, la notion de tribu, est peu précise au Mali, au sens strict du mot. C'est sûrement cette influence d'unification, d'homogénéisation des races par le fleuve, qui a pu faire dire à Monsieur MENDIUS, Directeur Général du développement d'Outre Mer du Marché Commun, au cours d'un séjour au Mali :

"J'ai pris connaissance avec le Mali et j'ai constaté sa forte personnalité qui reflète encore le souvenir d'un passé étatique plus que millénaire".

Dans l'histoire et l'économie du Mali le rôle de l'eau a toujours été prépondérant et nous citerons quelques exemples significatifs illustrant cette importance pour notre peuple.

L'histoire raconte (2) que la partie Nord du Mali, allant de la zone sahélienne au Sahara, était jadis une terre de richesses et d'abondances grâce à ses cours d'eau aux rives herbeuses et à ses mines de métaux précieux. Dans une ville nommée Ouagadou, vivait un grand serpent dans un puits, ce serpent était le génie dispensateur de tous les biens dont jouissait le pays. En reconnaissance on lui offrait tous les ans la plus belle jeune fille du pays que l'on parait d'or et faisait descendre dans le puits dans une atmosphère de fête.

---

(1) H. DESCHAMPS - Encyclopaedia universalis, Paris 1968, vol. 1, 349-50.

(2) Folklore malien (tradition orale).

Cette année-là le choix se porta sur une jeune fille dont le fiancé jura qu'elle ne serait pas la proie du serpent. A la veille de la cérémonie, le jeune homme descendit se cacher dans le grand puits, sabre à la main. Quand on fit descendre sa fiancée dans le puits et qu'il vit le boa s'en approcher, il fonça sur ce dernier et lui coupa les sept têtes. Dans un bruit de tonnerre, ces têtes s'envolèrent du puits et maudissant le pays allèrent tomber au sud dans la région de la Falémé où elles firent la prospérité du Bouré dont l'or est encore réputé pour sa pureté.

Pendant sept ans, sept mois et sept jours toujours selon la légende, il n'y eut pas une goutte de pluie dans la région; les cours d'eau et les mines disparurent. C'est ce qui expliquerait encore le désert qui s'est installé dans cette vaste partie du Mali.

Plus près de nous, au 18ème siècle, le roi N'Golo DIARRA, de Ségou, avait confié à l'un de ses fils, N'Dji, le commandement de la région de Bamambougou. La favorite du prince N'Dji conçut l'idée de faire irriguer sa région. Aussi, un soir, réveilla-t-elle son mari en ces termes : (1)

"Mon Maître et Prince tout puissant, mon plus grand désir est de pouvoir entendre une nuit, les hippopotames s'ébrouer et hennir dans l'eau, sous les fenêtres du palais".

Mobilisant son peuple, le prince N'Dji fit creuser un grand canal reliant sa localité au fleuve Niger. Profitant d'une nuit noire d'orage, les habitants de Bamambougou mirent des ânes dans le canal et les tenant par la bride, les amenèrent nager et braire sous les fenêtres du palais. La Princesse en eut ainsi pour ses hippopotames et en fut très heureuse. L'essentiel est que la région de Bamambougou, grâce à ce canal, est aujourd'hui une riche région de rizières. Et chaque fois qu'un événement heureux survient au Mali, les griots chantent encore ce refrain :

"Les hippopotames de Bamambougou N'Dji ont henni, une ère nouvelle de bonheur et de prospérité a sonné.

---

(1) Folklore malien (tradition orale).

Nous ne saurions achever cette partie de légende sans ajouter qu'aujourd'hui encore, après le mois de carême, les jeunes filles en procession vont en chantant jeter dans le Niger, des tartines de couscous à l'intention de la mère Faro (génie possesseur du fleuve) pour lui demander protection et santé.

Tout ceci nous éloigne beaucoup de notre sujet, mais situe bien l'importance qu'a joué et jouera toujours l'eau dans la vie socio-économique de notre pays.

Les travaux d'irrigation de l'ingénieur BELIM pour le compte de l'office du Niger dans la plaine du Macina aboutirent à près de 150 kms de canalisation qui font du Mali un des plus gros producteurs de riz et de coton de l'Afrique de l'Ouest, et de la région de Macina, une riche terre d'élevage (le Mali aurait autant de bovins que d'habitants).

Aujourd'hui, en ce début d'industrialisation de l'Afrique, les premières usines du Mali sont situées en presque totalité dans les villes, sur les cours d'eau. Ceci pose déjà le problème futur de la pollution chimique des eaux par ces usines, comme c'est actuellement le cas dans les pays développés.

- C H A P I T R E I -

L E M A L I - G E N E R A L I T E S

Anciennement connu sous le nom de Soudan Français, le Mali est une république de 4.750.000 habitants et s'étend sur 1.204.000 km^2.

Sans débouché sur la mer, il se situe entre :

- 10°19' et 24°42' de latitude Nord et
- 2°35' Est et 12°10' Ouest en longitude.

Le Mali est limité (1) :

- Au nord par l'Algérie
- Au sud par la Côte d'Ivoire, la Haute Volta et la Guinée
- A l'est par le Niger
- A l'ouest par la Mauritanie et le Sénégal.

Le Mali se présente dans son ensemble comme un vaste glacis s'inclinant doucement du Sud au Nord vers de grandes cuvettes sédimentaires. Son relief est peu élevé sauf à l'extrême Nord Est ou l'Adrar des Iforas culmine à 800 m. Les reliefs les plus importants sont des escarpements terminant des plateaux en formes de collines (Monts Mandingues de la région de Bamako) ou de falaises (Région de Bandiagara).

A/- DONNEES CLIMATIQUES

Elles présentent des variances selon les régions.

Dans l'ensemble, le Mali apparaît comme un pays chaud offrant une saison sèche allant d'octobre à avril avec une période de froid entre novembre et février, et une saison humide ou pluvieuse appelée hivernage et allant de mai à septembre. Mais ce sont là des données variant sensiblement selon les

---

(1) Encyclopaedia britannica - World Atlas W. Benton ed. London 1963.

régions.

C'est ainsi que le Bassin du Fleuve Niger possède un climat de type soudanien du Sud dans la région de Sikasso et un climat de type soudanien du Nord dans les régions de Bamako et Ségou (1).

La différence entre ces deux types de climats réside surtout dans la durée de la saison pluvieuse et dans la hauteur des chutes d'eau. Cette saison est plus longue dans le premier cas d'où possibilité de deux récoltes à Sikasso. Sa durée dans cette région est supérieure à 3 mois et inférieure à 6 mois avec une hauteur de pluie comprise entre 900 et 1500 mm.

Dans le climat soudanien Nord, la saison des pluies est supérieure à 2 mois et inférieure à 3 mois avec une hauteur de pluie comprise entre 600 et 900 mm. Plus l'on va vers le Nord du pays, plus l'influence du climat de type sahélien s'installe, marquée par une sécheresse accrue et une pluviométrie presque nulle.

Les données ci-après nous précisent mieux le régime climatique du Mali. Nous avons choisi Bamako comme lieu de référence à cause de sa qualité de capitale et de sa situation presque centrale dans le pays.

- Température :

La moyenne est de 28°.

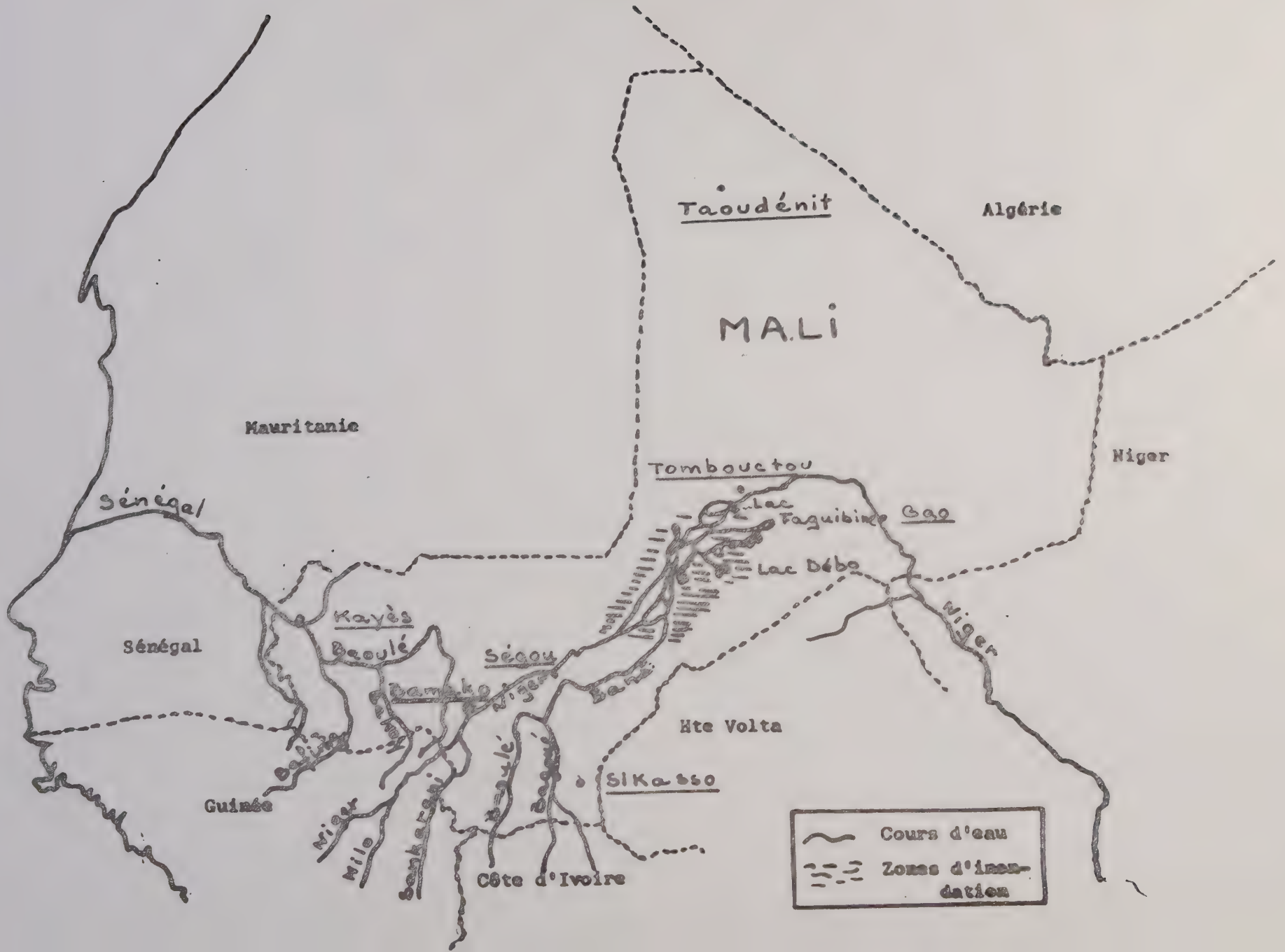
Le mois le plus chaud est celui d'Avril avec un maximum de 39°5. Le mois le moins chaud est celui de Janvier avec un minimum de 17°5.

- Humidité relative (Rapport de l'humidité absolue actuelle à l'humidité absolue maximale à la température considérée).

Elle varie de 10 à 43 % en Février (saison sèche) et de 62 à 96 % en Août (hivernage).

---

(1) Grand Larousse encyclopédique . Larousse ed. Paris 1963.


Taoudénit
Algérie
MALI
Mauritanie
Tombouctou
Niger
Sénégal
Lac Faguibine
Gao
Lac Débo
Kayès
Sénégal
Baoulé
Ségou
Bamako
Niger
Bani
Niger
Hte Volta
Sikasso
Guinée
Mille
Baoulé
Bagoé
Côte d'Ivoire
Cours d'eau
Zones d'inondation

- Evaporation annuelle :

Elle présente une moyenne de 1900 mm sur grande étendue.

- Régime des précipitations:

A Bamako il faut compter environ 1100 mm annuels se répartissant comme l'indique le tableau I°... Autrement, dans l'ensemble, le régime des précipitations au Mali est de 1600 mm sous le 10è parallèle, 200 mm sous le 17è parallèle et presque nul au Nord.

B/- DONNEES HYDROGEOLOGIQUES

Malgré l'importance des précipitations dans les régions sous influence du climat de type soudanien Sud, le Mali est dans son ensemble, un pays qui a soif.

Son réseau hydrique, bien qu'important est mal réparti sur l'étendue du pays où les régions sahéliennes et sahariennes n'ont presque point d'eau (1).

Comme sources ou disponibilités du Mali en eau, nous pouvons noter:

1°)- Les eaux de surface

Elles sont constituées par les fleuves, les rivières et cours d'eau divers dont les plus notoires sont le Niger et son grand affluent, le Bani. Le Niger, grand fleuve de 4500 km, prend sa source en Guinée, dans le Massif du Fouta Djallon. Grossi à gauche du Tinkisso et à droite, du Mafou, du Niandan (région de Kissidougou), du Milo (région de Kankan) et du Sankarani (région de Mandiana), le Niger coule ensuite, d'abord vers le Nord-Est sur près de 1600 km, puis d'Ouest à l'Est (de Kabara à Bamba) pour redescendre vers le Sud après avoir décrit sa fameuse courbe, la Boucle du Niger.

Tout au long de son cours, le Niger est appelé sous différentes dénominations :

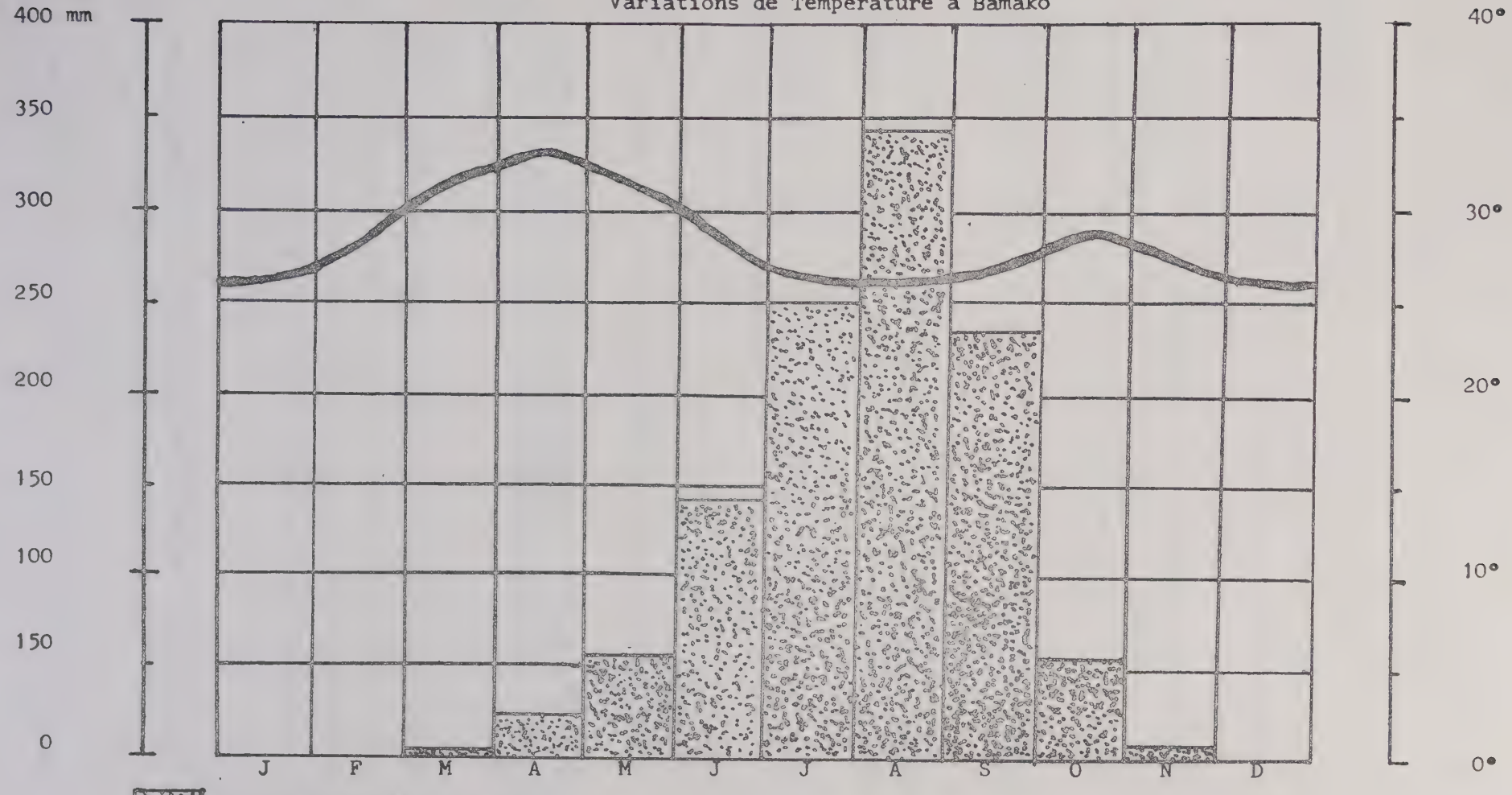
- de Kouroussa en Guinée jusqu'à Diafarabé au Mali, on l'appelle Djoliba ou

---

(1) Capitaine LENFANT. Le Niger voie ouverte à notre empire africain, pages 48-57. Hachette éd. Paris 1903.

TABLEAU I

Régime des Précipitations et
Variations de Température à Bamako



Djaliba (Fleuve du griot); sur ce parcours, à part les chutes de Sotuba au sortir de Bamako, le Niger coule dans une région paisible où il est, selon le poète FODEBA KEITA, "dispensateur de calme et d'abondance".

- De Diafarabé à Ilo, toujours en territoire malien, les riverains du Niger, de race sonraï ou songhoï appellent ce dernier Issa-Béri, étymologiquement grande eau. C'est là que le fleuve forme de majestueux lacs aux rives herbeuses où depuis des siècles affluent tous les ans, du Macina et du Nord, des milliers de bovins en transhumance. C'est la région de pâturages avec les lacs Débo, Fati, Faguibine. C'est aussi la sphère du nomadisme des touareg dont la marche des troupeaux est liée, depuis des siècles, au régime du Fleuve.

- D'Ilo jusqu'à son delta, dans les territoires anglophones, le Niger est appelé Kouarra.

Au Mali, le plus gros affluent du Niger est le Bani. Ce dernier est formé lui-même, de la réunion, peu après Doïla, du Baoulé et du Bagoué.

Le Baoulé, long de 850 km, provient de la réunion du Banifing et du Dégou dans la région de Bougouni.

Le Bagoué, long de 700 km et caractérisé par de larges plaines d'inondation, reçoit le Bafini, le Kankélaba et un second Banifing.

Formé donc du Baoulé (fleuve rouge) et du Bagoué (fleuve blanc), le Bani coule parallèlement au Niger auquel il va s'unir à Mopti, après un parcours de 1300 km.

Après les fleuves Niger et Bani, citons le fleuve Sénégal qui coule dans la région de Kayes. Formé du Baoulé, du Bafing, du Bakoy et de la Falémé, le Sénégal se dirige de Bafoulabé vers l'Océan Atlantique. Son importance capitale dans le développement futur de l'économie des états riverains explique l'intérêt que ceux-ci lui portent.

Les tableaux II et III donnent une idée de l'importance des bassins et du débit de ces cours d'eau dont nous venons de parler(*).

(*) Renseignements fournis par Monsieur le Directeur de l'Hydraulique du Mali en mars 1970.

a) Réseau Niger - Bani

- Superficie du Bassin :

- A l'entrée du fleuve Niger au Mali .... 71.800 km^2
- A Bamako ..... 117.000 km^2
- A Mopti ..... 281.000 km^2
- A Diré ..... 340.000 km^2

- Les débits

Tableau II

	A Koulikoro (Niger seul)	A Diré (Niger - Bani)
Débit moyen	1541 m^3/s	1185 m^3/s
Débit d'étiage	47 m^3/s	62 m^3/s
Crue moyenne	6276 m^3/s	2348 m^3/s
Crue exceptionnelle	10000 m^3/s	2900 m^3/s
Date de passage des crues	Fin septembre	Fin Décembre

La superficie inondable dans la cuvette lacustre ou delta intérieur (région du Lac Débo) est de 40000 km^2. Comme nous l'avons signalé plus haut, c'est la région des pâturages.

b) Réseau du Fleuve Sénégal. Rappelons que ce fleuve est formé par le Baoulé, le Bakoy et le Bafing.

La superficie de son bassin est de :

126.900 km^2 à Galougo
168.900 km^2 à Kayes
et 232.200 km^2 à Bakel.

Le tableau ci-dessous nous présente les caractéristiques de ce fleuve.

Tableau III

	A Galougo	A Bakel
Pluviométrie moyenne	1150 mm	950 mm
Débit moyen	600 m^3/s	770 m^3/s
Débit d'étiage	5 m^3/s	2 m^3/s
Débit de crue	4000 m^3/s	4900 m^3/s
Crue exceptionnelle	8500 m^3/s	9100 m^3/s

L'étude du tableau du débit de ces cours d'eau (Niger, Sénégal et leurs affluents) nous montre qu'il suit celui de la pluviosité des régions traversées.

Toutes ces masses d'eau sont plus utilisables pour l'irrigation des plaines que pour l'alimentation en eau potable.

Mais c'est actuellement le contraire qui se passe, car le pays manque de moyens financiers pour entreprendre une large politique d'adduction d'eau potable par canalisation. Il est à regretter que ces eaux de surface, bactériologiquement non potables, constitueront encore longtemps le réservoir et le véhicule de nombreuses maladies d'origine hydrique dont nous aurons à parler plus loin.

2°)- Les eaux souterraines

Si l'on fait abstraction de l'évaporation, particulièrement importante au Mali, l'eau de pluie suit deux destinées différentes. Une partie constitue les eaux de ruissellement qui se rassemblent pour former les cours d'eau, une autre s'infiltre dans le sol et peut donner naissance à d'importantes nappes.

Ces nappes ont une composition chimique qui est fonction de la nature géologique des couches terrestres environnantes ou traversées par ces eaux, au cours de l'infiltration. Elles sont en général bactériologiquement plus pures que les eaux de surface par suite des phénomènes de filtration, assurés plus ou moins bien par les terrains traversés.

Ces nappes de profondeur variable sont accessibles soit par forage, soit par puits. C'est ainsi que l'on préfèrera exploiter une nappe profonde plutôt qu'une nappe phréatique, plus sujette à des pollutions par filtration insuffisante.

Les nappes d'alluvion, que l'on rencontre dans les vallées ou lits de cours d'eau, sont pratiquement des eaux filtrées et excellentes quant à leur potabilité, tout comme les eaux des nappes profondes. Malgré cela, le captage de ces dernières exige certaines précautions par suite des risques de pertubation du régime des eaux de surface de la région.

Le Mali possède d'assez importantes réserves d'eaux souterraines, surtout dans le bassin du fleuve Niger. La composition et le mouvement de ces eaux souterraines sont fonction de la nature géologique des sols.

1°) Dans le bassin du Niger on distingue* :

- Le continental intercalaire constitué d'argile, de grès, de graviers, de conglomérats divers et dont l'épaisseur moyenne est de l'ordre de 1500 m.

---

* Renseignements donnés par le Service Hydraulique du Mali.

Sa perméabilité aux eaux d'infiltration varie de 0,01 à 0,10 m par heure. Il est alimenté par les eaux du Nord, du Nord-Est et de l'Est.

L'eau de ce sol présente un résidu sec de l'ordre de 700 mg/l.

- Le Crétacé, constitué d'argiles, de schistes, de marnes et de calcaires, est alimenté par les eaux de pluie. Son épaisseur maximale est de 400 m. Sa perméabilité varie de 0,06 à 1,2 m/h et son eau présente un résidu sec de 400 à 500 mg/l.

- Le Continental Terminal : constitué de grès, d'argiles et de graviers se trouve au Nord de la Boucle du Niger. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 100 m.. Le taux de résidu sec de l'eau de ce bassin est de 700 mg/l au Nord de l'Adrar des Iforas et de 400 à 500 mg/l à l'Ouest de cette même chaîne montagneuse.

2°) Le Bassin de Taoudénit, au Nord du Mali est le plus grand d'Afrique et contient dans du grès, des nappes profondes et parfois salées.

3°) Le Bassin du Gondo, riche en grès, schistes et argiles est alimenté par les eaux de pluie.

4°) Le Bassin du Gourma comporte de nombreuses nappes aquifères discontinues et des fissures profondes par lesquelles il est alimenté par le fleuve et les pluies.

5°) A l'Ouest du Mali, il faut noter un bassin sédimentaire constitué de schistes dans la région de Nara et de grès dans celle de Kita. D'alimentation pluviale, il comporte de rares nappes exploitables et peu de sources. Le régime de ces sources, lorsqu'il y en a, dépend essentiellement des précipitations. Par exemple la région de Nara se couvre parfois à certaines époques de lacs spontanés (il y a quelques années il s'est formé un lac de près de 25 kms de long qui a disparu par la suite). Dans ces zones sédimentaires, le terrain n'était pas propice à la formation de nappes aquifères importantes, cela explique que quelques jours ou quelques mois après les précipitations tous les puits peuvent se trouver à sec.

C'est la région des puits très profonds (200 m parfois) dont le forage est du ressort des Services Hydrauliques du Mali.

6°) Au Sud du Mali s'étend un socle granito-gneissique de formation compacte et caractérisé par l'absence de nappes continues.

- C H A P I T R E II -

CONSIDERATIONS GENERALES SUR LES NORMES INTERNATIONALES POUR LES EAUX DE BOISSON

A/- POTABILITE PHYSICO-CHIMIQUE DE L'EAU

Elle dépend de la nature géologique des terrains traversés par l'eau. C'est ainsi que les eaux de terrains granitiques sont pauvres en éléments minéraux et celles des cours d'eau sans grand courant (lacs - marigots - mares, etc...)se caractérisent par une odeur particulière de mélange de vase, de poissons et d'herbes.

L'eau pure est consituée d'hydrogène et d'oxygène; à l'état naturel, elle tient souvent en solution ou en suspension des produits divers et des micro-organismes pathogènes ou non. L'eau destinée à la consommation humaine doit être potable c'est-à-dire non susceptible de porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment. De ce fait, elle ne doit contenir, en quantités dangereuses, ni substances chimiques, ni germes microbiens nocifs pour la santé. Elle devra, par son goût, sa couleur, son odeur, être agréable à consommer et convenir, sans préjudice aux usages domestiques. Le tableau IV indique pour certaines substances des concentrations limites retenues par l'O.M.S. pour l'eau potable (1).

---

(1) Normes internationales pour l'eau de boisson O.M.S. Genève 1965.

TABLEAU IV

Eléments	Concentration maximum acceptable	Concentration maximum admissible
1) Caractères physiques		
Matières solides totales	500 mg/l	1.500 mg/l
Couleur (unités platino-cobalt)	5	50
Turbidité (unités turbidimétriques)	5	25
Goût	limite subjective d'acceptabilité	
Odeur	limite subjective d'acceptabilité	
pH	7,0 - 8,5	6,5 - 9,2
2) Caractères chimiques		
Fer	0,3 mg/l	1 mg/l
Manganèse	0,05 mg/l	0,05 mg/l
Cuivre	1 mg/l	1,5 mg/l
Zinc	5 mg/l	15 mg/l
Calcium	75 mg/l	200 mg/l
Magnésium	50 mg/l	150 mg/l
Sulfates (en SO_4^{2-})	200 mg/l	400 mg/l
Chlorures(en Cl^-)	200 mg/l	600 mg/l
Na_2SO_4 + $MgSO_4$	500 mg/l	1.500 mg/l

Tableau IV (suite)

Eléménts	Concentration maximum acceptable	Concentration maximum admissible
3) Substances comportant un risque pour la Santé		
Nitrates (en NO_3^-)		10 mg/l
Fluorues (en F^-)		1 mg/l
4) Substances toxiques		
Plomb		0,05 mg/l
Arsenic		0,05 mg/l
5) Substances indicatrices d'une pollution		
Demande chimique en oxygène (D.C.O.)		10 mg/l
Demande biologique en oxygène (D.B.O.)		6 mg/l
Azote total (sans NO_3^-)		1 mg/l

Les concentrations maximum acceptables définissent une eau généralement admise par le consommateur. Quant aux concentrations maximum admissibles, elles représentent la limite à partir de laquelle la potabilité de l'eau est nettement douteuse.

B/- NORMES BACTERIOLOGIQUES

L'eau d'un réseau de distribution doit être exempte de tout germe pathogène surtout d'origine fécale. Aussi, la surveillance de la qualité des eaux de boisson doit être régulière pour déceler les germes du groupe coliforme. Ce groupe comprend les bacilles en forme de bâtonnets gram-négatifs, non sporogènes et provoquant en moins de 24 h. à la température de 44°, la fermentation du lactose avec production d'acide et de gaz.

Pour une meilleure efficacité, cette surveillance doit être d'une certaine fréquence en fonction de l'état de l'eau considérée (traitée ou non) comme l'indiquent les tableaux ci-dessous :

- Pour l'eau non traitée entrant dans le réseau de distribution, la fréquence des analyses est ainsi fixée :

Population desservie	Intervalles maximum entre prélèvements successifs
jusqu'à 20.000 habitants	1 mois
de 20001 à 50.000 habitants	2 semaines
de 50001 à 100000 habitants	4 jours
Plus de 100000 habitants	1 jour

- Pour l'eau traitée ou non, prélevée sur le réseau de distribution, on a:

Population desservie	Intervalle maximum entre prélèvements successifs	Nombre minimum d'échantillons à prélever sur le réseau entier de distribution
jusqu'à 20.000 habitants	1 mois	1 échantillon par mois et par 5000 habitants
de 20001 à 50000 habitants	2 semaines	
de 50001 à 100000 habitants	4 jours	
Plus de 100000 habitants	1 jour	1 échantillon par mois et par 10000 habitants

Les malades infectieuses ou virales transmises par l'eau sont nombreuses. Parmi les plus courantes on note les salmonelloses, les shigelloses, le choléra, les hépatites à virus, la poliomyélite, etc. .. La recherche de ces organismes est souvent délicate et on s'appuie sur le fait que ces germes ou ces virus en cas de contamination sont toujours accompagnés de germes intestinaux banaux ; ceux-ci sont plus résistants et plus nombreux, donc plus facilement décelables.

L'analyse courante d'une eau de consommation comporte ainsi la recherche systématique des germes, tests de contamination fécale à savoir (1) :

- E. Coli
- Coliformes
- Entérocoques
- Perfringens

avec éventuellement la recherche des bactériophages Coli et dysentériques.

Pour chaque échantillon prélevé, il faut indiquer la densité en bactéries coliformes ou "nombre le plus probable" (Most probable number) d'organismes présents dans 100 ml d'eau. C'est l'indice M.P.N. exprimant ainsi approximativement la quantité de coliformes. Dans 90 % des échantillons examinés au cours d'une année et prélevés sur une eau traitée, l'indice M.P.N. devra être inférieur à 1 et n'atteindre 10 dans aucun des échantillons.

Si c'est une eau naturelle non traitée l'indice M.P.N. doit être inférieur à 10 et ne devra dépasser 20 dans aucun des échantillons. De même la proportion des coliformes fécaux ne doit pas dépasser, dans une eau naturelle, 40 % des germes du groupe coliforme total.

Au-delà de l'indice M.P.N. égal à 16 il faudra envisager un traitement de l'eau car elle est polluée au captage. On procédera à une stérilisation par des procédés physiques ou chimiques appropriés.

En conclusion de ce chapitre nous pouvons dire qu'il est nécessaire de procéder à une analyse physico-chimique totale de l'eau mais que cela ne suffit pas pour une détermination de sa potabilité. L'analyse bactériologique permet surtout d'apprécier la valeur d'une eau au point de vue hygiènique.

---

(1) J. RENAUDET et R. GRILLOT - Analyse bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine. Polycop. T.P. 4ème an. Fac. Médecine et Pharmacie de Grenoble, 1970, 1-26.

- CHAPITRE III -

LE RESEAU D'EAU POTABLE AU MALI

Il ne se rencontre que dans les zones urbaines qui sont : Bamako, Bougouni, Kayes, Ségou, Sikasso et Gao(*).

Il est peu étendu et est loin de satisfaire les besoins de la population. Au point de vue gestion et administration, il relève des services de l'Energie du Mali. Celle-ci dispose d'un laboratoire de contrôle chimique à Bamako dont les travaux sont complétés par ceux du Service d'Hygiène au point de vue contrôle bactériologique.

En effet, l'Energie du Mali procède chaque jour à Bamako à des prélèvements au niveau des stations de pompage et des réseaux pour le contrôle chimique alors que le Service d'Hygiène effectue une fois par semaine des analyses bactériologiques à partir des prélèvements faits aux mêmes sources.

Le réseau d'eau courante du Mali se répartit, comme l'indique le tableau V.

Les fontaines publiques sont situées dans des zones d'habitations populeuses. Pratiquement le réseau malien est demeuré, du moins en ce qui concerne Bamako, Ségou, Kayes, sans grande modification, depuis l'accession du pays à l'indépendance (1960). Les projets futurs d'adduction, actuellement en étude et dont la réalisation est imminente sont :

(*) Renseignements fournis par Monsieur le Directeur Général de l'Energie du Mali en mars 1970.

TABLEAU V

Localités desservies	Nombre d'habitations abonnées	Nombre de bornes fontaines	Nombre de bouches d'arrosage	Nombre de chasses pour égoûts	Population totale
Bamako	4.835	175	26	7	200.000 hbts
Bougouni	265	13	0	0	<20.000 hbts
Gao	660	0	0	0	15.000 hbts
Kayes	859	40	0	0	24.000 hbts
Ségou	99	0	0	0	27.000 hbts
Sikasso	0	10	0	0	27.000 hbts

1°) Au niveau de Bamako :

L'aggrandissement des installations de production, de traitement et de distribution.

En effet, il se trouve que depuis l'indépendance, l'expansion urbaine a pris une telle ampleur que certains quartiers résidentiels périphériques quoique peuplés, comme Lafiabougou, Korofina et Sokoninko ne disposent pas d'eau courante et certains, même pas l'électricité. Pour tous ces quartiers le problème numéro un est celui de l'eau, les puits n'étant parfois qu'un pis aller car ils sont souvent à sec.

2°) A Koulikoro :

Il est prévu l'installation d'un réseau d'adduction. Ville de port fluvial située à 60 km de Bamako, Koulikoro est devenu une cité industrielle (huileries - savonneries - ateliers divers) ce qui augmente considérablement ses besoins en eau.

3°) A Mopti :

Il n'existe pas d'eau courante sous réseau. Capitale de la 5è région économique du Mali, Mopti est situé au confluent des fleuves Niger et Bani à 600 km de Bamako. Situé sur une presqu'île, Mopti est la ville à plus forte densité du Mali, et faute d'eau potable, les maladies d'origine hydrique sont en pleine extension. Il est prévu l'installation d'un réseau d'adduction.

4°) A Ségou :

Capitale de la 4è région économique du Mali, cette ville s'étend le long du Niger et ne possède qu'un embryon de réseau d'eau courante limité aux quartiers européens de l'époque coloniale et de l'Office du Niger. Il est prévu une extension de ce réseau à l'ensemble des quartiers de la ville.

5°) A Tombouctou :

Il est prévu l'installation d'un réseau d'adduction d'eau potable.

L'étude du réseau de distribution de l'eau courante dans les centres urbains démontre que le système actuel demande à être révisé.

En effet, il se soucie plus de l'alimentation d'habitations particulières que de l'augmentation du nombre de bornes-fontaines. C'est opter là pour un objectif qui consiste à faire bénéficier d'eau courante à domicile, tous les habitants d'une localité desservie, alors que l'essentiel pour nos villes doit être, même dans les dix prochaines années à venir, l'accroissement des bornes-fontaines accessibles à tout le monde. Dans le Mali, seul le réseau d'adduction d'eau potable de la ville de Sikasso répond à un but social : protéger le maximum de gens en leur apportant de l'eau potable. Le réseau de Gao et celui de Ségou ne s'intéressent, comme à l'ère coloniale, qu'à une minorité de privilégiés en n'alimentant que les quartiers résidentiels pour hauts fonctionnaires.

De même, toutes les localités urbaines et chefs-lieux de cercles ne disposent pas de systèmes d'eau courante et il n'y a pas non plus de projet d'adduction future les concernant. C'est le cas, entre autres, de Kita, Koutiala, San, Djéné, etc....

Le Mali compte environ 5 millions d'habitants. D'après le Service de l'Energie, il y a un total de 6.718 habitations abonnées en eau courante. Si nous supposons qu'il y a vingt personnes dans chacune de ces habitations, nous pourrons dire que 134.360 Maliens jouissent de l'eau potable sous réseau et à domicile, soit près de 3 % de la population totale ou 30 % de la population urbaine malienne. Dans le même ordre d'idée, on peut dire que les 238 bornes-fontaines, compte-tenu de la relative faiblesse du nombre de citadins (il y a à peu près 80 à 90 % de Maliens en milieu rural); ne desservent pas plus de 100.000 habitants soit 2 % de la population totale malienne. En résumé, nous pouvons dire sans trop exagérer que seuls 5 % des Maliens jouissent de l'eau potable courante soit à domicile, soit par le truchement des bornes-fontaines.

Certes, ces données sont discutables, étant donné qu'au départ nous avons doté chaque habitation de vingt personnes. Mais il n'en demeure pas moins, comme nous l'avons dit plus haut, que l'étude du réseau d'eau potable malien, démontre que celui-ci est conçu plus dans un but de rentabilité financière que d'investissement social.

L'adduction d'eau est une opération très onéreuse, même ruineuse pour les pays en voie de développement. Cependant, les gouvernants de ces pays doivent repenser le problème en lui donnant un caractère plus social. En effet, il n'est pas encore à la portée de n'importe quel cadre malien, d'alimenter son domicile en eau potable sous réseau. Dans le quartier de Badalabougou (quartier du fleuve) en Octobre 1970 encore, le branchement sur réseau d'eau potable d'une villa revenait à 50.000 F. Il est certain que l'état en supporte une grande part, mais il est quand même évident que cette somme, vue l'échelle des salaires est une vraie fortune pour le Malien moyen.

Le côté investissement social du problème doit prendre le pas sur celui de rentabilité économique immédiate. Pour ce faire, il serait souhaitable, malgré la bonne administration de l'Energie du Mali, qu'il soit mis en place un Service autonome uniquement chargé du problème de l'eau potable au Mali, tant au point de vue adduction que de celui des analyses de contrôle et de la gestion. Un tel service serait plus à même de mieux cerner ce problème d'eau potable, d'en préciser la situation présente afin de dégager les besoins actuels et futurs. Ce service des eaux, tout en étant autonome du point de vue administration et gestion, n'aurait pas moins des attaches solides tant avec le Ministère des Travaux Publics et des Industries, qu'avec celui de la Santé Publique. Ce dernier ministère est, à notre avis, un peu tenu à l'écart, quel que soit le rôle du Service d'Hygiène dans le contrôle bactériologique de l'eau sous réseau.

Actuellement, devant l'insuffisance ou l'absence de l'eau potable, la population rurale et celle de certaines cités urbaines, n'ont pas le choix. Elles sont forcées de se contenter de n'importe quelle eau, depuis celle des puits, des lacs, des rivières polluées, des nappes stagnantes recouvertes de nénuphars, jusqu'à l'eau de pluie, tout cela sans souci d'agents pathogènes qui contaminent le plus souvent de telles eaux.

Dans certaines localités importantes de la zone sahélienne et de la Boucle du Niger, les populations ne disposent que de l'eau que colportent soit dans des barriquets, soit dans des outres de peau de chèvre, des vendeurs d'eau ambulants. Nous sommes loin d'Hippocrate qui mettait en garde contre l'eau des lacs, des rivières et des mares ! Pour 80 % des Maliens, le problème de l'eau potable doit être prioritaire dans les investissements futurs.
En effet si nous considérons les statistiques de l'importance des maladies transmises par l'eau au Mali (chapitre suivant), nous sommes obligés de reconnaître l'urgence d'une solution à apporter à ce problème d'adduction d'eau potable.

Dans les pays en voie de développement, l'impuissance financière conduit plus souvent qu'on ne le croît les gouvernants à sacrifier les investissements sociaux au profit des investissements immédiatement productifs (usines-infra-structure routière-industries diverses, etc...). Certes c'est la force des choses qui peut expliquer un tel choix, mais il n'en demeure pas moins que c'est, dans certains cas, opter pour l'intérêt immédiat au détriment de l'intérêt à long terme, car il n'y a pas maintien ou accroissement d'essor économique sans bonne santé publique. Evidemment tout doit être soumis à une sorte d'échelle de rapports car le Mali ne saurait, sans étouffement certain, gonfler son budget d'investissement social. Mais dans le domaine particulier de l'eau, le Mali peut avoir recours, pour l'extension de son réseau, soit à des investissements privés nationaux ou étrangers, mais soumis au contrôle de l'état, soit au système d'investissement humain. Il va sans dire que cette dernière solution devra être proposée par les localités elles-mêmes, sans aucune contrainte des autorités.

Dans tous les cas, une étude judicieuse par les autorités publiques devra être entreprise sans tarder sur le problème de l'eau potable.

En effet, comme le disent H. DIETERICH et J.M. HENDERSON experts de l'O.M.S. (1) :

"Le développement de l'adduction et de la distribution d'eau dans un contexte d'expansion économique doit se faire selon un calendrier bien dé-

---

(1) B.H. DIETERICH et J.M. HENDERSON - L'approvisionnement des villes en eau. Situation et besoins dans 75 pays en voie de développement. O.M.S. Genève 1964.

terminé. S'il est prématuré, les capitaux disponibles sont insuffisants. Si au contraire il est trop tardif, tout le processus d'expansion économique est déséquilibré parce qu'une ressource donnée, à savoir l'eau, manque et parce que les ravages des maladies transmises par l'eau rendent indisponibles une partie de la main d'oeuvre; en outre, les fonds risquent d'être déjà affectés à d'autres projets".

- C H A P I T R E IV -

L'EAU DE BOISSON ET LES MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE AU MALI

Selon Raymond Marcellin, alors Ministre Français de l'Aménagement du territoire, un habitant d'un pays en voie de développement consomme en moyenne 15 m^3 d'eau par an, un Européen 600 m^3 et un Américain du Nord 1200 m^3 (Intervention du Dr. MABILEAU à la journée d'Hydrologie du 13 Février 1969 à Paris) (1). Ceci démontre bien que la quantité d'eau consommée dans les différentes parties du monde est fonction du développement économique de ces régions.

D'autres facteurs entrent en compte comme le climat, le milieu citadin ou rural, le niveau social et surtout le mode de distribution d'eau qui détermine mieux que tout, le volume d'eau consommée. Ainsi, selon le U.S. Commitee on Rural Saniation (cité par Van RIEL) (2), un ménage disposant d'une pompe à main ne consommerait que 38 litres par jour et par personne. Ce chiffre monte à 57 quand un robinet existe sur l'évier de la cuisine, et atteint 190 litres lorsque l'eau est distribuée dans toute la maison (cuisine, buanderie, douche et WC).

Sur le plan de l'hygiène générale, l'insuffisance ou même l'inexistence de réseaux d'adduction, surtout en milieu rural africain, expliquent que la consommation annuelle d'eau soit si faible dans nos pays. En effet, lorsqu'il dispose d'assez d'eau, l'Africain a une conception romaine de l'hygiène: il est fréquent de voir les riverains du Niger prendre un minimum de trois bains par jour (le climat chaud peut en être l'explication).

---

(1)- J.F. MABILEAU - Quelques aspects économiques, sociaux et politiques des problèmes que pose actuellement l'eau dans le monde et en France. Produits et Problèmes Pharmaceutiques, 1969, 24, 478-88.

(2)- Van RIEL - L'eau en milieu rural centrafricain. Ed. Académie royale des Sciences d'Outre-Mer (classe des sciences naturelles et médicales N.S. XVI-I). Bruxelles 1964. p.20.

Dans nos milieux ruraux maliens, les cours d'eau sont presque toujours éloignés et les seules sources d'approvisionnement en eau sont constituées, comme nous l'avons indiqué plus haut, par les eaux de pluie stagnantes qui forment des mares plus ou moins souillées et par des puits. Ces derniers, sans périmètre de protection, se rencontrent dans les concessions, mais le plus souvent il n'y a qu'un seul puits par village pour tous les usages domestiques (eau de boisson, lessives, etc...) et pour le bétail. Hormis les régions sahéliennes et sahariennes où le plus souvent les puits sont creusés par le service d'hydraulique, les puits du milieu rural malien sont de type "artisanal".

Ces puits ont 1 à 2 m de diamètre. A cause du manque de matériel approprié, ils sont creusés juste pour aboutir à la première nappe superficielle. Aussi font-ils l'objet de souillures dues à l'infiltration des eaux usées. C'est le cas de tous ces puits de village autour desquels se créent des mares boueuses, vrais milieux de cultures microbiennes.

Dans bien des villages et quartiers populeux des villes, l'absence d'un tracé de rues fait que les habitants s'agglomèrent sans ordre et il n'est pas rare de voir le puits sinon vis-à-vis, du moins à très peu de distance des latrines. Bien souvent même, la fosse d'aisance est creusée si profondément qu'elle aboutit à la même nappe d'eau souterraine que le puits voisin d'où un permanent péril fécal pour les familles utilisant l'eau de ce puits. Seule une éducation sanitaire à grande échelle et de longue haleine pourra faire comprendre à ces populations le danger de telles eaux polluées.

Même à Bamako où il existe comme nous l'avons vu plus haut un réseau d'adduction, il y a lieu de faire des réserves sur cette question d'eau potable qui englobe à la fois la notion de quantité et celle de qualité d'eau disponible. En effet, l'étude du réseau urbain de Bamako nous montre que seule une minorité dispose de l'eau courante à domicile. Le reste de la population est desservi par 175 bornes fontaines.

L'attente dans de longues files devant ces bornes fontaines, l'éloignement de celles-ci et par suite la corvée de portage des seaux d'eau par les ménagères, font que les usagers préfèrent souvent consommer sur place l'eau sale ou souillée de leur puits plutôt que d'aller chercher de l'eau pure à la fontaine.

Toutes les difficultés pour obtenir l'eau dans les bornes fontaines font également que les usagers stockent cette eau dans des canaris où elle se pollue facilement.

C'est là un facteur favorisant l'expansion des maladies transmissibles par l'eau de boisson, qui doit rester potable tant à son entrée dans le réseau de distribution qu'au moment de sa consommation.

Les maladies d'origine hydrique les plus courantes au Mali présentent toutes une allure variant non seulement avec l'agent pathogène mais également avec les modes de pollution des eaux d'alimentation. Elles comprennent les maladies bactériennes (choléra, fièvres typho-paratyphiques, dysenterie bacillaire), des viroses (poliomyélite) et diverses parasitoses dues à des protozoaires (Amibiase) où à des helminthes (Bilharzioses, Dracunculose).

1.- CHOLERA

C'est le chef de file des maladies bactériennes d'origine fécale et où la transmission hydrique joue un rôle primordial. Le choléra a été pendant très longtemps absent du territoire malien ou en tout cas très rare. En 1970, au cours de sa large diffusion mondiale il atteignit le Mali où il fit de nombreuses victimes surtout dans les cités riveraines du Niger et dépourvues d'eau potable sous réseaux (Ségou, Mopti). Au total, il y eut 6040 cas dont 1910 décès.

2.- FIEVRES TYPHO-PARATYPHIQUES

Elles présentent un caractère endémique au Mali avec une nette augmentation d'année en année, comme l'indiquent les statistiques du Ministère Malien de la Santé. C'est ainsi que l'on notait 86 cas en 1966, 287 cas en 1967 et 792 cas en 1968. Il est néanmoins possible que cette augmentation ne soit en partie qu'apparente et résulte d'une amélioration des moyens diagnostiques.

En revanche, ces chiffres considérés globalement sont certainement en-dessous de la réalité. Il faut en effet tenir compte du fait qu'il n'y a pas partout au Mali de laboratoires assez équipés pour poser avec certitude le diagnostic bactériologique, surtout en milieu rural. De même, l'allure parfois atypique que prennent les fièvres typhoïdes peut être la cause de certai-

nes confusions avec d'autres affections plus ou moins déterminées.

Entre 1966 et 1969, les fièvres typho-paratyphiques ont au total causé 68 décès mais proportionnellement, la mortalité est en diminution nette.

3.- DYSENTERIE BACILLAIRE

Cette maladie est également en nette progression, avec 36 cas en 1966, 461 en 1967 et 2.960 en 1968. Quoique parfois "maladie des mains sales", elle a cependant une origine hydrique surtout dans des localités sans grande organisation sanitaire et sans distribution d'eau potable. Endémique, la dysenterie bacillaire est très contagieuse et présente d'importantes recrudescences saisonnières.

4.- AUTRES MALADIES BACTERIENNES

Parmi les affections transmissibles d'origine hydrique qui sont endémiques au Mali, on peut également mentionner des gastro-entérites, des colites et certaines diarrhées infantiles à étiologie plus ou moins imprécise.

5.- POLIOMYELITE

Bien qu'elle soit discutée par certains auteurs, la contamination hydrique est à redouter dans la transmission des enterovirus. La poliomyélite est en nette croissance au Mali avec 47 cas en 1966, 406 en 1967, 963 en 1968 et 577 en 1969. Pour le total de ces quatre années, la mortalité a été de 32 cas, très inférieure par conséquent à celle qui a résulté de l'épidémie de choléra de 1970 ou encore de l'endémicité des fièvres typho-paratyphiques.

6.- AMIBIASE

Affection parasitaire due à un protozoaire, Entamoeba histolytica, elle a une allure actuellement inquiétante au Mali avec 35.772 cas en 1966, 49.081 cas en 1967 et 61.506 cas en 1968. Essentiellement endémique, elle peut présenter de rares poussées épidémiques, contrairement à la dysenterie bacillaire qui est surtout épidémique. Dans sa forme intestinale, cette affection très asthéniante est importante à la fois sur le plan médical et du point de vue économique. Elle peut surtout donner des complications viscérales, hépatiques en particulier, qui peuvent être mortelles et sont probablement respon-

sables de la grande majorité des 308 morts causées par l'amibiase entre 1966 et 1969.

7.- DRACUNCULOSE

Elle doit son origine hydrique au fait que l'eau contient l'hôte intermédiaire, le cyclops, petit crustacé de taille microscopique. Ce crustacé vit dans les eaux tropicales et héberge les formes larvaires infestantes du parasite. C'est son ingestion avec de l'eau de boisson qui entraîne l'infestation humaine. La Dracunculose est une maladie des zones rurales du Mali. Sa principale manifestation est la présence -dans le tissu cellulaire sous-cutané- d'un ver long de près de 90 cm et siègeant le plus souvent au niveau de la jambe, de la cheville, ou de la plante des pieds. Cette infection est bénigne en soi mais elle entraîne de longues incapacités professionnelles, surtout pour les travaux des champs.

Elle reste endémique au Mali où il y eut 3134 cas en 1966, 2688 en 1967, 1784 en 1968 et 3560 en 1969.

8.- BILHARZIOSES

Ce sont des helminthiases dues à des trématodes, les schistosomes. Leur origine hydrique vient du fait que l'eau est le biotope des hôtes intermédiaires, des mollusques vivant dans les eaux douces.

La particularité de ces affections tient à leur mode de contamination. En effet, les formes infestantes du parasite (meta-cercaires) s'échappent des mollusques hôtes intermédiaires, nagent dans l'eau douce et pénètrent dans l'organisme humain par voie transcutanée lors des baignades.

Au Mali, c'est surtout la bilharziose urinaire ou vésicale qui est la plus répandue. L'hématurie en est la manifestation clinique essentielle.

L'agent pathogène est Schistosoma haematobium qui infecte actuellement presque tous les cours d'eau du Mali. La bilharziose vésicale est une maladie endémique dans notre pays, surtout dans les localités riveraines du Niger et chez les enfants. Les taux d'infestation sont relativement plus élevés dans les villes comme Ségou et Mopti qu'à Bamako où la distribution d'eau potable sous adduction fait que la population a moins recours aux baignades

dans le fleuve.

Quant à la bilharziose intestinale due à Schistosoma mansoni, elle est peu étendue ou peut-être encore mal décelée. En effet, ses symptômes cliniques sont moins caractéristiques que ceux de la bilharziose vésicale et ils peuvent être confondus avec les manifestations de l'amibiase.

Cependant, les deux formes de bilharziose sont en recrudescence car les statistiques font état de :

- 25.021 cas en 1966, 28.824 en 1967 et 37.230 en 1968 pour la bilharziose vésicale,
- 121 cas en 1966 et 168 en 1967 pour la bilharziose intestinale.

L'ensemble des éléments statistiques concernant les maladies à transmission hydrique est résumé dans le tableau VI.

L'examen du tableau des statistiques de ces maladies entre 1966 et 1968 nous démontre plus que tout, l'urgence d'une politique d'expansion du réseau de distribution d'eau potable.

En tenant compte du fait que ces données statistiques n'émanent que des rapports annuels des hôpitaux et d'autres formations sanitaires du Mali, il ne serait pas exagéré d'augmenter très sensiblement le nombre de cas de ces maladies. En effet, tout le milieu rural ne dispose pas d'une constante assistance médicale malgré l'effort du gouvernement malien qui, depuis l'indépendance, consacre une large part du budget national à la Santé Publique. C'est grâce à cet effort que, comme nous l'indiquent les statistiques, si nous assistons à une augmentation vertigineuse du nombre de cas des différentes maladies hydriques, nous voyons également que les cas de décès sont en régression par suite de traitement judicieux et des moyens adéquats mis au service de la Santé Publique.

Mais il n'en demeure pas moins, que sans l'expansion du réseau d'eau potable, il est à craindre que l'ampleur de l'effort de notre corps de Santé ne puisse pas améliorer le niveau sanitaire de nos populations, tant urbaines que rurales.

Le Mali, comme tous les pays en voie de développement, dispose de peu de moyens financiers pour faire face pendant longtemps à cette médecine

TABLEAU STATISTIQUE DES MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE AU MALI

ANNEE	MALADIES															
	CHOLERA		FIEVRES TYPHO-PARATYPHIQUES		DYSENTERIE BACILLAIRE		POLIOMYELITE		AMIBIASE		DRACUNCULOSE		BILHARZIOSE VESICALE		BILHARZIOSE INTESTINALE	
	Cas	Décès	Cas	Décès	Cas	Décès	Cas	Décès	Cas	Décès	Cas	Décès	Cas	Décès	Cas	Décès
1966	-	-	86	15 (17,5%)	36	-	47	5 (10,6%)	35772	29 (0,08%)	3134	-	25021	1	121	-
1967	-	-	287	7 (2,5%)	461	-	406	2 (0,5%)	49081	35 (0,07%)	2688	-	28824	2	168	-
1968	-	-	792	13 (1,6%)	2960	2 (0,06%)	963	13 (1,3%)	61506	140 (0,2%)	1784	-	37230	-	-	-
1969	-	-	460	33 (7,2%)	108	16 (14,8%)	577	12 (2%)	44511	134 (0,3%)	3560	-	41244	-	-	-
1970	6040	1910	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL	6040	1910 (31,6%)	1625	68 (4,2%)	3565	18 (0,5%)	1993	32 (1,6%)	190870	338 (0,18%)	11166		132319	3	289	

curative, vu le prix toujours croissant des spécialités qui viennent de pays où l'existence d'une Sécurité Sociale, bien que jugée ruineuse, fait peser moins sur les populations le coût élevé des traitements.

Au fil des années, avec l'augmentation démographique, les cas de maladies transmises par l'eau augmenteront et le Mali consacrera plus de fonds qu'il ne devra, ni ne pourra sans aide extérieure pour traiter ces affections.

Seule l'adduction d'eau potable, épaulée par une efficace éducation sanitaire permettra de rentabiliser l'effort parfois surhumain de notre corps de Santé, handicapé par l'insuffisance de ses effectifs et de son équipement sanitaire. En effet, l'éducation sanitaire de masse et l'expansion des réseaux d'alimentation en eau potable peuvent être des armes efficaces pour la médecine préventive qui, force oblige, doit nécessairement prendre le pas sur la médecine curative ou de soins dans nos pays à faibles ressources. Mieux vaut prévenir que guérir. C'est une question d'option en matière de politique sanitaire : choisir entre la Médecine Préventive et la Médecine Curative. Celle-ci dépasse déjà et dépassera longtemps nos moyens financiers. Il est même à craindre, à l'allure de la hausse actuelle des prix, qu'elle ne devienne un luxe; nos populations rurales, c'est-à-dire les 4/5 des habitants de nos pays, ne pourront jamais en profiter, faute de moyens. Beaucoup de pharmaciens de nos hôpitaux africains constatent qu'ils ne pourront pas toujours mettre à la disposition des praticiens, les médicaments et le matériel les plus élémentaires.

Force nous est de constater que si la prévention coûte cher, la guérison coûte encore plus cher. D'ailleurs on peut, sans cynisme pour autant, se demander à quoi bon soigner des malades si au retour dans leurs villages ils doivent retrouver les mêmes conditions d'hygiène déplorables dues à une eau de boisson polluée qui les contamine à nouveau. Mieux vaut leur apporter d'abord cette eau potable sans laquelle la meilleure action thérapeutique restera sans effet. On peut dire que guérir les gens c'est souvent commencer par transformer, par assainir leur environnement (hygiène de l'habitat, eau potable, évacuation des déchets...).

Tout ceci est conditionné par une politique bien comprise de l'adduction d'eau potable sous réseaux. Pour certaines maladies transmises par l'eau (amibiase, bilharzioses et dracunculose), c'est le seul moyen prophylac-

tique efficace. Même pour les affections contre lesquelles nous disposons de vaccination (choléra, fièvres typhoïdes et para-typhoïdes, poliomyélite) le contrôle et l'épuration de l'eau potable demeurent certainement le meilleur moyen de lutte.

Selon une enquête de l'O.M.S. au Japon, et qui portait sur 30 zones rurales, l'installation d'un réseau de distribution d'eau potable a fait fléchir le nombre de cas :

- de maladies intestinales transmissibles de 71,5 %
- de trachome de 64 %
- de mortalité infantile de 51,7 %

En Inde, dans l'Etat d'Ultar Pradesch, on a obtenu les résultats suivants concernant l'abaissement du taux :

- de mortalité par choléra de 74,1 %
- de " par fièvre typhoïde de 63,6 %
- de " par dysenterie de 23,1 %
- de " par maladies diarrhéïques de 42,7 %.

Toutes ces données statistiques démontrent mieux que tout l'urgence de l'alimentation en eau potable de nos populations, des pays en voie de développement.

Si l'étude de la qualité de l'eau renseigne sur l'origine de certaines maladies, disons également que certaines maladies sévissant dans les pays sous développés sont liées à la notion de quantité de l'eau d'alimentation.

C'est ainsi que par suite de paupérisme et de pénurie d'eau, une hygiène corporelle défectueuse est cause de nombreuses dermatoses car une peau malpropre constitue toujours une voie facile de pénétration microbienne.

- C H A P I T R E V -

ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE DE CERTAINES EAUX DU MALI

L'étude de l'ensemble du réseau d'adduction en eau potable du Mali, montre que seule la ville de Bamako possède une installation véritablement organisée. Les autres localités du pays utilisent pour la plupart les eaux naturelles sans aucun traitement préalable.

C'est pourquoi nous nous attacherons surtout à l'étude physico-chimique de l'eau de Bamako dont on est en droit d'exiger qu'elle réponde à des normes de potabilité classiques puisqu'elle est distribuée publiquement et après traitement.

Nous complèterons cette étude en donnant quelques résultats d'analyses physico-chimiques correspondant à des eaux d'autre origine :

Gao, Taoudénit, Kayes, Diamou.

Cette étude comportera deux grandes parties :

- une étude des procédés d'analyse que nous avons retenus pour la détermination des caractères physico-chimiques;

- une étude critique de nos résultats d'analyse par comparaison aux normes théoriques internationales de potabilité des eaux d'alimentation.

A/- LES METHODES ANALYTIQUES UTILISEES

Suivant qu'il s'agit d'une installation de réseau ou d'un contrôle en cours de fonctionnement le nombre de déterminations physiques, chimiques et bactériologiques à effectuer varie. Il y a lieu de distinguer trois sortes d'analyses concernant les eaux d'alimentation, ce sont :

1°/- ANALYSE DE TYPE I

Elle se pratique dans les laboratoires de première catégorie sur une eau inconnue destinée à une installation nouvelle. Elle comporte la détermination des :

a)- Caractères organoleptiques

- odeur
- saveur
- couleur
- turbidité

b)- Caractères physiques

- température
- résistivité
- pH
- radio-activité

c)- Caractères chimiques

- demande chimique d'oxygène en milieu alcalin et acide, ou D.C.O.
- dureté totale ou T.H.
- dureté temporaire
- dureté permanente
- titre alcalin (alcalinité à la phénolphtaléine) ou T.A.
- titre alcalin complet (alcalinité au méthylorange) ou T.A.C.
- silice en mg/l
- anhydride carbonique libre en mg/l
- H_2S libre et sulfures en mg/l
- O_2 dissous en mg/l
- Cl_2 libre en mg/l
- résidu sec 105° C
- résidu sec 500° C
- essai au marbre
- cations : Na^+, K^+, NH_4^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}
- anions : HCO_3^-, NO_3^-, NO_2^-, Cl^-, SO_4^{2-}, HPO_4^{2-}.
- éléments toxiques : Pb, As, Cr, CN^-, F^-.
- éléments indésirables : Cu, Zn et Phénols.

2°/- ANALYSE DE TYPE II

Elle s'effectue dans tous les laboratoires agréés et constitue une analyse sommaire ou de surveillance de potabilité. Elle comprend la détermination des :

a)- Caractères organoleptiques comme dans le type I.

b)- Caractères physiques :

- température
- pH
- résistivité.

c)- Caractères chimiques :

- demande chimique d'O_2 en milieu alcalin
- dureté totale
- titres alcalin (T.A.) et alcalin complet (T.A.C.)
- Cl^-, NO_2^-, NO_3^-, HPO_4^{2-}, NH_4^+, Fe^{2+}.

3°/- ANALYSE DE TYPE III

C'est une analyse de surveillance réduite. Elle se limite aux déterminations physiques de température et de résistivité.

Pour les prélèvements, nous avons utilisé des bouteilles en verre non coloré que nous avions soumises au traitement suivant : lavage à l'eau ordinaire suivi d'un lavage à l'aide d'une solution saturée de permanganate de potassium. Puis nous avons procédé à un lavage à l'aide d'une solution aqueuse d'acide sulfurique au 1/10. Après un temps de contact de 30 mn nous avons effectué un lavage abondant à l'eau ordinaire puis à l'eau distillée.

Au moment du prélèvement nous avons rincé les bouteilles trois fois avec l'eau à analyser, de même que les bouchons. Nous avons prélevé chaque fois 2 litres d'eau.

Le sol étant en grande partie recouvert par de la latérite (argile riche en oxyde de fer) on prélève certains échantillons sur un peu d'acide chlorhydrique en vue de la recherche du fer.

Nous avons effectué plusieurs prélèvements à des dates différentes ce qui nous a permis de dresser le tableau VII où figurent nos résultats pour la ville de Bamako. Nos déterminations correspondent à une analyse du type I.

- La couleur

Elle est celle due uniquement aux substances dissoutes dans l'eau et non aux matières en suspension. Pour la déterminer, nous avons choisi la méthode au platine-cobalt décrite dans "l'Analyse chimique et physico-chimique de l'Eau" par J. RODIER (1). Cette technique a pour principe de détermination, la comparaison de la coloration propre de l'eau à analyser à celle d'une eau incolore additionnée d'une quantité connue de solution mixte aqueuse chlorhydrique de chloroplatinate de potassium et de chlorure de cobalt. Le résultat s'exprime en unités Hazen. Une unité Hazen est l'unité de couleur de l'eau et correspond à 1 mg de platine au litre.

Nous avons procédé sur le résultat de centrifugation de l'échantillon à étudier.

- La turbidité

Selon MORETTE (2), la turbidité est un phénomène optique consistant essentiellement en une absorption combinée avec une diffusion de la lumière éclairant un certain volume d'eau. Elle est dûe à la présence dans l'eau, de particules solides diverses en suspension (sable - argile - rouille - débris végétaux - microorganismes, etc...). Cette turbidité qui peut s'exprimer en silice donne une idée sur la teneur en ces substances décantables au bout d'un temps plus ou moins prolongé. Elle se détermine par la comparaison de la transparence de l'eau avec celle d'une suspension artificielle de silice (Diatomée). Ce mode d'expression étant trop sujet à variations pour une même eau, nous avons choisi la détermination de la turbidité par la méthode "des gouttes de mastic". Celle-ci permet l'évaluation des particules colloïdales non décantables et non filtrables. Son principe est basé sur la comparaison de l'absorption de la lumière par l'eau à analyser avec celle de l'eau distillée additionnée d'une quantité connue de solution alcoolique de mastic végétal à 1/1000 (p/V).

---

(1)-J. RODIER-Analyse chimique et physio-chimique de l'eau.4è éd.Dunod,Paris, 1971.

(2)-A. MORETTE-Précis d'hydrologie, Masson Paris 1964.

La turbidité est exprimée soit en gouttes de mastic pour 50 cm^3 d'eau, soit en mg de mastic au litre, sachant qu'une goutte de teinture égale 0,02 mg de mastic.

La détermination de la turbidité est indispensable à l'entreprise du traitement et de l'épuration des eaux brutes.

- L'odeur

Une eau potable doit être sans odeur. Toute apparition d'odeur anormale dans l'eau est le signe d'une pollution. Le sens olfactif peut seul, dans une certaine mesure, déceler les substances responsables de cette pollution.

Le principe de détermination consiste à diluer l'eau à examiner jusqu'à ce qu'elle ne présente plus d'odeur perceptible. Le résultat s'exprime par le nombre correspondant à la valeur du seuil de perception de l'odeur dont la nature est précisée. Il est donné par la relation $\frac{X}{Y}$ où X est le volume de l'eau examinée utilisé et Y le volume de la plus grande dilution pour laquelle l'odeur reste perceptible.

- La saveur

L'eau à déguster est diluée avec de l'eau distillée pure jusqu'à absence de goût. La limite de perception de la saveur s'exprime de la même façon que la limite de perception de l'odeur. Une eau potable doit être insipide ou avoir une saveur faible et agréable.

- La température

Elle doit être inférieure ou supérieure à celle de l'air ambiant selon que l'on se trouve en saison chaude ou froide. Elle se détermine au moment du prélèvement à l'aide d'un thermomètre à mercure gradué en dixièmes de degrés et maintenu plongé dans l'eau 5 à 10 minutes. Tandis que la température des eaux profondes est en général constante, celle des eaux superficielles est voisine de celle du sol. Une température constante est un gage de stabilité de la composition d'une eau.

- La résistivité

Elle dépend de la concentration de l'eau en électrolytes ou sels conducteurs. Elle renseigne donc sur la salinité ou la minéralisation de l'eau. Sa détermination fréquente est un moyen de surveillance car elle renseigne sur les variations de composition de l'eau. On peut la déterminer par la mesure de la conductivité C :

$$C = \frac{1}{R} \quad \text{d'où} \quad R = \frac{1}{C}$$

Elle s'exprime en ohms/cm/cm^2, c'est-à-dire par le produit de la résistance donnée sur le cadran de l'appareil par la distance des deux électrodes en cm et par leur surface en cm^2. Elle varie avec la température et cette dernière doit être déterminée au moment de la mesure.

- Le pH

Il exprime la réaction acide ou alcaline de l'eau et se trouve essentiellement conditionné dans le cas des eaux superficielles par le taux de $H_2\ CO_3$. En effet, pour les eaux profondes originaires des terrains volcaniques, l'acidité peut résulter des traces de $H_2\ SO_4$, $H_2\ SO_3$, ou H_2S, alors que dans les eaux calcaires ou sulfureuses sodiques, l'alcalinité est conditionnée essentiellement par les carbonates (CO_3^{2-}) et accessoirement par les silicates ($Si\ O_3^{2-}$) et les sulfures (S^{2-}). Le pH ne détermine pas la valeur hygiènique d'une eau mais, tout comme les titres hydrotimétrique et alcalimétrique : il constitue une notion importante dans la détermination de la qualité agressive ou incrustante d'une eau. En effet, tout comme ces caractères agressif ou incrustant, le pH d'une eau dépend beaucoup du rapport

$$\frac{CO_2 \text{ libre}}{CO_2 \text{ combiné dans les } HCO_3^-}$$

dans cette eau.

Pour la détermination du pH, nous avons utilisé la méthode potentiométrique car elle est plus précise que la méthode colorimétrique surtout dans le cas des eaux très douces.

- L'oxygène consommé par les Matières organiques

Cette détermination permet d'évaluer globalement la teneur en matières organiques, animales ou végétales de l'eau par mesure du pouvoir réducteur de cette eau vis-à-vis d'un oxydant fort comme le permanganate ou le bichromate de potassium. Le résultat est exprimé en mg d'oxygène nécessaire pour oxyder, dans des conditions précises, les matières organiques d'un litre d'eau.

Pour la détermination de cette oxydabilité, nous n'avons agi qu'en milieu alcalin. En effet la plupart des molécules organiques d'origine animale ne sont attaquées qu'en ce milieu et les résultats obtenus en milieu acide n'ont pas une grande signification dans le contrôle de pureté bactériologique de l'eau. Pratiquement la détermination en milieu acide n'est plus demandée que par les textes législatifs.

- La demande chimique en oxygène (D.C.O.)

Se détermine et s'exprime de la même façon, elle est particulièrement utile pour le contrôle de la qualité des eaux après traitement.

Pour une eau potable, la D.C.O. doit être nulle ou inférieure à 1 mg/l. Au-delà de 2 mg/l, l'eau est suspecte et au-dessus de 4 mg/l, elle est mauvaise. Notons toutefois que certaines eaux, à faibles traces de matières organiques peuvent être très nocives par la nature des éléments microbiens qu'elles véhiculent alors que d'autres, provenant de régions riches en humus, peuvent comporter des doses élevées quoiqu'inoffensives de matières organiques (d'origine végétale). Il y a donc lieu pour l'interprétation de rapprocher le taux de matières organiques des résultats de l'examen bactériologique.

- La demande biologique en oxygène (D.B.O.)

Cette détermination ne s'applique pas aux eaux d'alimentation mais a pour objet de vérifier si une eau est susceptible de subir une auto-épuration par action des microorganismes. D'une façon schématique, on la mesure en dosant l'oxygène dissous dans l'eau au temps zéro, puis après avoir conservé cette eau pendant un nombre de jours déterminé (j) à une température également déterminée (t), on dose l'oxygène restant. Ceci permet de calculer la quantité

consommée qui est exprimée en mg pour un litre.

La D.B.O. est toujours exprimée en mentionnant j et t. Très fréquemment on utilise la $D.B.O._5$ qui se détermine à la température de 20°C pendant 5 jours.

- La dureté totale ou titre hydrotimétrique

Elle détermine dans l'eau, la quantité du bloc acide carbonique et sels de calcium et de magnésium (principalement les bicarbonates et les sulfates). Les eaux riches en ces sels alcalino-terreux sont dites dures. Elles sont impropres aux usages domestiques (les légumes cuisent mal et le savon ne mousse que difficilement). Selon IMBEAUX (1), la dureté totale de l'eau exprimée en degré hydrotimétrique français varie ainsi :

0 - 7° : pour les eaux très douces
7 - 14° : pour les eaux douces
14 - 20° : pour les eaux moyennement dures
20 - 30° : pour les eaux assez dures
30 - 50° : pour les eaux dures
plus de 50° : pour les eaux très dures.

Selon BONJEAU, une eau est trop dure à partir de 35° pour les usages domestiques et à partir de 60° pour les usages industriels.

Il y a plusieurs méthodes de détermination de la dureté de l'eau.

La méthode à la liqueur savonneuse de BOUTRON et BOUDET est actuellement presque abandonnée au profit des méthodes complexométriques. En effet celles-ci sont plus précises que la première, qui se trouve influencée par CO_2 et le chlorure de sodium, lequel empêche également le moussage du savon.

Pour nos travaux, nous avons choisi la méthode complexométrique où les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} forment avec le sel disodique de l'E.D.T.A. un complexe du type chélate. L'indicateur de fin de réaction est le Noir Eriochrome qui, à pH = 10 est rouge en présence de calcium et de magnésium et bleu-vert en

---

(1)-E. IMBEAUX-Essai d'hydrogéologie. Recherche, étude et captage des eaux souterraines - Dunod Paris 1930.

en absence de ces éléments. Le degré hydrotimétrique français correspond à 10 mg de Ca CO_3 par litre (soit 4 mg de Ca).

- L'Alcalinité

Elle se détermine par le titre alcalimétrique ou T.A. qui mesure la teneur de l'eau en alcalis libres et en carbonates alcalins caustiques et par le titre alcalimétrique complet ou T.A.C. qui correspond à la teneur de l'eau en alcalis libres, carbonates et bicarbonates. Ces déterminations sont basées sur la neutralisation d'un certain volume d'eau par un acide minéral dilué en présence d'un indicateur coloré variable : la phénolphtaléïne pour le T.A. et l'hélianthine pour le T.A.C.. Notons toutefois que pour certaines eaux, l'alcalinité peut-être due aux sulfures ou aux silicates. Il y a un certain rapport entre l'alcalinité et la dureté d'une eau. C'est ainsi que le T.A.C. représente la dureté bicarbonatée et carbonatée.

- Le résidu fixe sec

Il est déterminé à 110 et à 180°C. Selon la "Rivers Pollution Commission" en Grande Bretagne, le taux limite de résidu fixe est de :

- 51 mg/l pour les rivières des terrains primitifs et métamorphiques.
- 87 mg/l pour les rivières des terrains stratifiés, non calcaires, non cultivés.
- 95 mg/l pour les rivières des terrains stratifiés non calcaires, cultivés.
- 227 mg/l pour les rivières des terrains stratifiés calcaires non cultivés.
- 300 mg/l pour les rivières des terrains stratifiés calcaires et cultivés.

- Le Sodium et le Potassium

Un taux élevé de sodium dans l'eau n'apporte pas de perturbation importante dans l'état de santé. Il confère à l'eau dans la plupart des cas un goût désagréable. Mais il peut toutefois signifier dans certains cas une pollution par les fosses d'aisance. Dans ce dernier cas l'augmentation du taux

de sodium est accompagnée d'une augmentation des taux de Cl^-, PO_4^{3-}, et par la présence de matières organiques. Un taux élevé de sodium et de sulfates peut engendrer un effet laxatif.

Le potassium est à peu près constant dans l'eau mais en quantité bien inférieure à celle du sodium. Nous avons procédé à une détermination de ces éléments par spectrophotométrie de flamme.

- L'Ammoniac

L'eau potable ne doit pas renfermer plus de 0,1 mg/l d'ions NH_4^+ soit 0,06 mg/l en N_2. Un taux plus élevé traduit souvent une pollution fécale ou urinaire. Mais notons toutefois que l'azote ammoniacal se rencontre dans les eaux marécageuses où il ne constitue pas un signe de pollution mais celui de la putréfaction de matières organiques végétales.

On détermine l'azote ammoniacal par la couleur brun-rougeâtre que donne l'eau avec le réactif de NESSLER. Cette réaction qualitative peut conduire à un dosage colorimétrique par comparaison avec une gamme étalon entre 400 et 425 nm.

En ce qui nous concerne, nous avons dû au préalable précipiter le fer par la soude et l'éliminer par filtration. En effet, les teneurs élevées de cet élément tout comme les matières colorantes et les suspensions colloïdales, gênent la réaction avec le réactif de NESSLER.

- Le Calcium et le Magnésium

Ces cations alcalino-terreux sont responsables de la dureté d'une eau comme nous l'avons indiqué plus haut. Ils sont dosés par complexométrie.

- Le Fer

Il se rencontre surtout dans les eaux à pH acide et de type réducteur pour Fe^{2+}. En effet, peu soluble à pH neutre ou alcalin, il précipite sous forme d'hydroxyde, $Fe(OH)_3$, et se trouve dans les eaux à l'état d'ions Fe^{2+} et Fe^{3+} comme dans les chloroferrates.

La teneur tolérée pour une eau potable est de 0,3 à 0,4 mg/l. Au-delà de ce taux, le fer peut communiquer à l'eau une saveur astringente et par ses propriétés catalysantes, rendre une eau impropre à l'usage dans certaines industries. De même les eaux ferrugineuses donnent souvent lieu à des développements de bactéries sidérophiles qui font précipiter le fer dans les tuyaux d'adduction sous forme de $Fe_2 O_3$.

Nous avons procédé à une détermination par la méthode au sulfocyanure de potassium. Ce corps donne avec les ions Fe^{3+} en milieu acide une coloration rouge dûe à la formation de complexes thiocyanés. Cette coloration se prête à un dosage colorimétrique à 475 nm en utilisant une gamme étalon. Cette méthode au KSCN a une sensibilité de l'ordre de 0,01 mg/l de Fe.

- Le Fluor

Elément nécessaire à l'organisme, le fluor, ingéré en quantité suffisante pendant la période de formation des dents a pour effet de protéger contre la carie.

Son taux dans l'eau doit être de l'ordre de 1 mg/l.

Au-dessous de 0,5 mg/l, les caries dentaires sont très fréquentes. Au-dessus de 1,5 mg il y a des risques de fluorose dentaire avec émail tacheté et l'on peut assister à une atteinte du squelette par suite d'intoxication chronique. Ceci se traduit par la fluorose ankylosante qui s'installe avec des doses de fluor de 20 à 80 mg/jour pendant 10 à 20 ans et qui est caractérisée par une calcification importante des os et des ligaments. C'est "l'os de marbre" devenant facilement cassant. Pour la détermination du fluor dans les échantillons d'eau analysés, nous avons choisi la méthode colorimétrique de DE BOER, basée sur le fait que les sels de zirconium donnent avec l'alizarine monosulfonate de sodium en milieu neutre une laque rouge violacée virant au jaune en milieu acide. Les ions F^-, en complexant le zirconium, s'opposent partiellement à la formation de la laque, ce qui a pour résultat d'atténuer la coloration rouge violacée. On utilise ce phénomène pour un dosage colorimétrique en employant une gamme étalon de fluorure.

- Les Chlorures

La connaissance du taux des chlorures renseigne sur le taux de minéralisation de l'eau et a valeur de témoin de pollutions organiques dans les cas de teneurs trop élevées.

Le taux de chlorures se détermine par la méthode de MOHR qui consiste à les doser en milieu neutre, par une solution titrée de $Ag\ NO_3$, en présence de chromate de potassium comme indicateur de fin de réaction.

Mais nos échantillons étant peu minéralisés nous avons utilisé la méthode de CHARPENTIER et VOLHARD qui précipite les chlorures par un excès de Nitrate d'argent, excès que l'on dose ensuite par du Thiocyanate de potassium titré en présence d'alun de fer ammonical virant au rouge en présence d'un excès de Thiocyanate.

- Les Sulfates

Ce sont des éléments naturels de l'eau. Au-delà de 250 mg/l ils peuvent provoquer des troubles gastro-intestinaux de type diarrhéïforme chez des consommateurs non habitués.

Pour la détermination des sulfates, nous avons choisi la méthode néphélométrique. Cette méthode consiste à apprécier au photomètre, à 420 nm et en comparaison avec des étalons, le trouble obtenu par suite d'addition de chlorure de baryum à la prise d'essai d'eau. Celle-ci contient un produit qui, en augmentant la viscosité, s'oppose à une sédimentation trop rapide (Gomme, Polyvinylpyrrolidone).

Cette méthode convient surtout pour les eaux faiblement sulfatées (0 à 40 mg/l).

- Les Phosphates

Leur présence dans l'eau peut témoigner d'une pollution d'origine animale, surtout dans le cas des puits où elle peut signifier une pollution par infiltration en provenance des fosses d'aisance.

Le phosphate favorise le développement de certaines algues dans les réservoirs et dans les canalisations. L'eau livrée à la consommation ne doit

pas en contenir plus de 5 mg/l exprimés en P_2O_5.

Nous avons utilisé la méthode céruléomolybdique dont le principe est le suivant :

- En milieu acide, l'acide phosphorique se combine à l'acide molybdique pour donner des acides phosphomolybdiques.
- En présence d'un réducteur comme $Sn\ Cl_2$, le molybdène fixé au phosphore est réduit et donne des sous-oxydes de molybdène de couleur bleue se prêtant à un dosage colorimétrique à 650 nm.

- Les Nitrites

Leur présence dans une eau naturelle est le signe d'une pollution récente par suite de l'oxydation de l'ammoniaque. Toutefois, la réduction des nitrates surtout dans les eaux de forages profonds peut expliquer la présence des nitrites.

Au-delà de 0,1 mg/l exprimé en azote, les nitrites présentent une certaine toxicité dûe à leur action méthémoglobinisante et hypotensive.

Nous avons déterminé les nitrites par une méthode colorimétrique dont le principe se base sur le fait qu'en milieu chlorhydrique et en présence d'ions ammonium les nitrites donnent un diazoïque avec l'acide sulfanilique. Ce dernier, copulé avec un phénol, fournit une coloration jaune qui permet un dosage colorimétrique (Zambelli).

- Les Nitrates

Ils donnent à l'eau une saveur fraîche. Ils stimulent la croissance des algues et des plantes vertes.

Au-delà d'un taux de 10 mg/l en azote, l'eau présente un certain danger surtout pour les nourrissons. Dans le liquide gastrique peu acide de ces derniers on peut assister, par un processus bactérien à la réduction des nitrates en nitrites d'où risques de méthémoglobinisation.

Le principe de la détermination de la teneur des eaux en nitrates est le suivant :

- en présence d'un réactif sulfophénolé, les nitrates donnent des dérivés phénoliques nitrés qui, en milieu alcalin, développent une coloration jaune appréciable par colorimétrie.

- Le CO_2 libre

Il constitue, avec les bicarbonates et carbonates surtout alcalino-terreux (Mg-Ca), les seuls dérivés du carbone susceptibles d'être rencontrés dans les eaux naturelles, en dehors des cas de pollution par des produits chimiques.

L'anhydride carbonique dans une eau, peut théoriquement s'y trouver sous les formes suivantes :

- CO_2 équilibrant : c'est celui qui est sous la forme H_2CO_3 suivant l'équilibre $CO_2 + H_2O \rightleftharpoons {}_2H^+ + CO_3^{2-}$
- CO_2 agressif : c'est celui qui est en solution dans l'eau
- CO_2 semi-combiné : c'est celui qui est sous la forme HCO_3^-
- CO_2 combiné : qui est sous forme de carbonates (CO_3^{2-})
- CO_2 libre est donc effectivement responsable de l'agressivité d'une eau.

Si la quantité de CO_2 libre dans une eau est égale à celle du CO_2 équilibrant, cette eau est dite neutre.

Si la quantité de CO_2 libre est supérieure à celle du CO_2 équilibrant, cet excès constitue le CO_2 agressif et l'eau est dite agressive et attaque les roches calcaires, le ciment et les matériaux métalliques, surtout ceux à base de plomb. Ce plomb, ainsi dissous passe dans l'eau d'alimentation, d'où risque d'intoxication chronique ou saturnisme. Les conduites en plomb sont donc à éviter pour l'acheminement d'une eau agressive.

Si la quantité de CO_2 libre est inférieure à celle du CO_2 équilibrant, on conçoit que l'équilibre carbonates/bicarbonates soit rompu et qu'on assiste à une précipitation de $Ca\ CO_3$. L'eau est alors dite incrustante. Elle est impropre aux usages domestiques (elle bout mal et ne fait pas mousser le savon).

Nous avons dosé le CO_2 libre en le neutralisant avec un excès de soude titrée, excès que nous avons dosé à son tour par de l'acide chlorhydrique.

B/- ETUDE CRITIQUE DE NOS RESULTATS

a) Eau du réseau de Bamako

Comme nous l'avons précisé plus haut, Bamako possède un réseau d'adduction d'eau permettant de desservir une population relativement abondante et cette eau peut-être considérée, au vu de nos résultats, comme chimiquement pure.

Si nous comparons entre eux les résultats que nous avons obtenus (Tableau VII), nous pouvons constater qu'ils sont très près les uns des autres. Ceci prouve que la composition de l'eau de ce réseau est remarquablement constante.

Si nous comparons l'ensemble de ces résultats homogènes avec les exigences fixées par l'O.M.S. (Tableau IV) nous remarquerons que tous les chiffres obtenus entrent dans les normes imposées, sauf un. Cette eau est remarquablement pauvre en sels; son degré hydrotimétrique faible, son pH moyen voisin de 7, lui permettent de se ranger dans la série des maximums acceptables.

Il faut cependant remarquer que sa coloration exprimée en degrés Hazen (20) sort des chiffres acceptables (5) tout en restant inférieure au maximum admissible (50). Cette coloration sensible est certainement imputable au fer présent en concentration relativement importante et nous en reparlerons plus loin.

Les matières solides totales sont tout à fait acceptables, les matières organiques, tout en restant nettement dans les normes admissibles sont cependant loin d'être négligeables.

La composition chimique comparée aux normes de l'O.M.S. peut attirer quelques remarques : le taux de fluorures (moins de 0,1 mg/l) est très inférieur à la concentration maximum admissible (1 mg/l), on peut même estimer

Eléments	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Degré hydrotimétrique total	2	2,5	1,7	2	2
Résistivité en ohms/cm/cm^2	11.180				
Turbidité en gouttes de mastic	inf. XV	inf. XV	inf. XV	inf. XV	inf. XV
pH	7	6,5	7	7	6,75
Couleur en unités Hazen	inf. 20	inf. 20	inf. 20	inf. 20	inf. 20
Odeur	nulle	nulle	nulle	nulle	nulle
Résidu sec à 110° C en mg/l	62				
Matières organiques en milieu alcalin (O_2 en mg/l)	0,8	1	1	1	1
Chlorures en mg/l	16	15,62	16	16,45	14,3
Fluorures en mg/l	inf. 0,1	inf. 0,1	inf. 0,1	inf. 0,1	inf. 0,1
Nitrites	néant	néant	néant	néant	néant
Sulfates en mg/l	17,28	15	16,82	17	18,25
Silice	traces	traces	traces	traces	traces
Alcalinité totale (T.A.C.)	4	4,5	3,8	4	4,12
Bicarbonates en mg/l	48,8	54,90	46,36	50,2	49,32
Phosphates	néant	néant	néant	néant	néant
Fer en mg/l	5,7	6	5,4	6,2	5,8
Calcium en mg/l	4	5,2	5,7	4	4,5
Magnésium en mg/l	2,43	2,44	1,7	2,5	2,15
Sodium en mg/l	23	18,52	22	21,12	23
Potassium en mg/l	10,5	9,5	10	10,62	10,15
Ammoniac	néant	néant	néant	néant	néant

que cette teneur est relativement faible et devrait disposer les populations jeunes, desservies par cette eau à des caries dentaires, puisque le chiffre admis comme normal (0,5 mg/l) est loin d'être atteint.

La plupart des autres éléments chimiques n'attirent pas de remarques et sont en relation avec la faible conductivité de l'eau et son faible résidu sec.

Nous retiendrons cependant la teneur en fer qui dépasse très nettement le maximum admissible fixé par l'O.M.S. (1 mg/l) puisque nous avons noté des chiffres de 6 et 6,2 mg/l. Cette teneur très élevée est en relation avec la nature fortement latéritique du sol de nombreuses régions du Mali, elle explique la couleur rouille que prend parfois l'eau de Bamako.

Nous signalerons également le taux de chlorures (de l'ordre de 16 mg/l), tout à fait acceptable quant aux normes O.M.S. (200 mg/l), mais qui surprend lorsqu'on se rappelle que cette eau provient du Niger dont la teneur en chlorures varie entre 3,5 et 4 mg/l. Cette différence tient au fait que cette eau est, après captage, traitée par l'eau de Javel, l'élévation du taux de chlorures étant en relation avec les ions Cl^- apportés et ClO^- réduits, contenus dans la solution d'hypochlorite de sodium utilisée comme désinfectant.

b) Autres eaux du Mali

Dans le tableau VIII figure la composition d'eaux provenant d'autres points répartis dans le Mali. Compte tenu des conditions dans lesquelles nous avons été amené à travailler, nous avons dû renoncer à certaines déterminations qui auraient été sans signification, par suite des conditions et des délais exigés par le transport (malgré les concours que nous avons obtenus).

On peut d'emblée distinguer parmi ces eaux celle qui provient de Taoudénit dont nous parlerons plus loin et les autres. Parmi ces dernières l'eau de Kayes est plus minéralisée, c'est aussi celle qui contient le moins de fer (1,2 mg/l) bien que la concentration de cet élément soit déjà supérieure au maximum admissible. Dans la même série et pour le même élément, nous noterons des chiffres élevés pour l'eau de Diamou (1,5 mg/l) et nettement élevés pour les deux eaux de Gao (3 mg/l).

Ce facteur défavorable mis à part on peut avancer que ces eaux, y compris même celle de Kayes, présentent du point de vue chimique, des caractères qui les rendent propres à la consommation et industriellement utilisables.

Il est par contre évident que l'eau de Taoudénit ne possède pratiquement aucun caractère pouvant la rendre admissible. Son résidu sec (7,200 mg/l), sa teneur en chlorures et sulfates (1,644 et 2,607 mg/l), sa forte concentration en cations, lui confèrent autant de critères de rejets. Quant à sa teneur en fer (73,9 mg/l) elle dépasse de loin des chiffres que nous avons antérieurement jugés inadmissibles.

Cette importante minéralisation est certainement dûe au fait qu'il s'agit d'une région où sont exploitées des mines de sel gemme qui doivent être en contact avec la nappe aquifère.

Il ne saurait être question d'attribuer à cette dernière eau un préjugé même faiblement favorable. Nous avons cependant jugé utile de la maintenir parmi nos résultats, de façon à ce qu'on se rende compte de la "qualité" de l'eau de boisson dans de telles régions et que du même coup on réalise l'urgence des efforts à entreprendre afin de fournir à ces populations une eau digne de ce nom.

Eléments	Kayes	Diamou
Degré hydrotimétrique	8,6	3
Résistivité en ohms/cm/cm^2	4.875	16.250
Turbidité en gouttes de mastic	inf. XV	inf. XV
pH	7,4	7,2
Couleur en unités Hazen	inf. 20	inf. 20
Odeur	nulle	nulle
Saveur	agréable	agréable
Résidu sec à 110° C en mg/l	154	58,5
Chlorures en mg/l (en Cl^-)	11	7
Nitrates	néant	néant
Nitrites	néant	néant
Phosphates	néant	néant
Sulfates en mg/l	1,5	0,8
Silice en mg/l	15	10
Fer en mg/l	1,2	1,5
Calcium en mg/l	28,05	6,01
Magnésium en mg/l	3,64	3,64

Tableau VIII (Eaux d'alimentation du Mali) (suite)

Eléments	Gao (*) puits central	Gao (*) puits 2929/70	Taoudénit (**)
Résidu sec à 110° C en mg/l	114	74	7.200
Minéralisation	5,79	5,38	
Chlorures en mg/l (en Cl^-)	54,18	47,41	1.644,3
Nitrate en mg/l (en NO_3^-)			2,4
Carbonates en CO_3^{2-} en mg/l	12	12	
Bicarbonates en HCO_3^- en mg/l	48,8	48,8	158,5
Fe^{2+} en mg/l	3		
Fe^{3+} en mg/l	0,3	3	73,9
Calcium en mg/l	41,61	46,51	493,85
Magnésium en mg/l	4,46	2,97	282
Potassium + Sodium en mg/l			1.225
Sulfates en SO_4^{2-} en mg/l	8,23	7,41	2.607,25

(*) Gao est une ville située sur le fleuve Niger

(**) Taoudénit est une ville du Grand Nord, région des mines de sel Gemme.

P E R S P E C T I V E S G E N E R A L E S

Le Mali, tout comme bien d'autres états africains ne pourra faire face avec succès à ce problème d'eau potable sans une aide massive internationale.

En effet, les difficultés se situent à plusieurs niveaux :

- Sur le plan géo-démographique, le Mali est un vaste pays peu peuplé et dont 80 % des habitants vivent disséminés en milieu rural. Très peu de villages atteignent 600 habitants, l'adduction y sera presque impossible car trop onéreuse.

- Sur le plan technique, le Mali ne dispose pas suffisamment de techniciens spécialisés ou d'ingénieurs sanitaires (le Mali disposerait actuellement de deux ingénieurs sanitaires dont un relevant de l'assistance technique O.M.S.).

- Sur le plan financier, le Mali n'a pas, pour le moment, les moyens d'entreprendre une large politique d'adduction d'eau (qu'il faut cependant commencer). Selon un rapport de l'O.M.S., l'installation d'un puits muni d'une rudimentaire pompe à main dans 500 villages de l'Inde coûterait 70 millions de dollars. Or, le Mali, pays à peuplement essentiellement rural, compte de nombreux villages auxquels il ne pourra apporter, à l'heure actuelle de l'eau potable à ce prix.

Pour résoudre le problème des agents sanitaires d'encadrement, le Mali, devra, à notre avis, accentuer l'orientation des élèves de l'Ecole Secondaire de la Santé vers la section de techniciens sanitaires dont il faudra compléter la formation par des stages post-scolaires dans les pays étrangers techniquement plus avancés sur ce problème d'eau potable.

Toujours concernant ce problème, il revient à l'Education Sanitaire

malienne un rôle primordial. Elle devra, par voie de presse, écrite ou radiodiffusée, sensibiliser plus la population à la question d'hygiène de l'eau. Elle devra oeuvrer à faire comprendre aux masses rurales les dangers que leur fait courir cette vieille croyance bien ancrée qu'une eau, toujours don du ciel, ne peut être responsable de maladies.

Nous pouvons peut-être nous permettre, de proposer, vu le peu de moyens dont dispose le Mali, la mise en place, dans chaque chef-lieu de région d'une équipe dirigée par un technicien sanitaire. Cette équipe serait chargée par des tournées fréquentes dans la région, de donner des leçons rudimentaires d'hygiène de l'eau aux paysans ou de procéder périodiquement à la désinfection et au nettoyage des puits de villages.

Cette équipe pourrait utiliser, pour la désinfection des puits, des techniques simples comme l'usage, soit du permanganate de potassium à raison de 5 g de produit pour 1 m^3 d'eau, soit de l'eau de Javel à raison de 1/4 de litre pour 1 m^3 d'eau, soit à raison de 15 à 20 gouttes de teinture d'iode par litre d'eau (L'iode détruit les protozoaires et les germes microbiens). En outre, cette équipe sanitaire que nous préconisons pourrait remettre à chaque chef de famille des comprimés tricolores dont l'Armée Française se servait dans ses déplacements. Le comprimé bleu constitué par de l'iodure de potassium et de l'iodate de potassium serait à dissoudre le permier dans l'eau à épurer; ensuite on ferait dissoudre le comprimé rouge constitué par l'acide tartrique. Le milieu acide ainsi créé provoquera une libération de l'iode de ses sels selon la réaction :

$$H\,IO_3 + 5\,HI \longrightarrow 3\,I_2 + 3\,H_2O$$

Cet iode naissant constituera un puissant antiseptique. Comme il colorera l'eau en brun, on fera dissoudre dans le milieu à épurer un troisième comprimé blanc composé de Thiosulfate de sodium. Ce dernier réagira avec l'iode pour le décolorer en le transformant en iodure et tétrathionate de sodium incolores et solubles. Il se passe la réaction :

$$2\,Na_2S_2O_3 + I_2 \longrightarrow 2\,NaI + Na_2S_4O_6$$

Afin d'en permettre un emploi plus facile et plus sûr, on pourrait

facilement donner aux comprimés les couleurs du Mali (vert-jaune-rouge) ce qui en faciliterait l'usage par les populations analphabètes. L'Equipe Sanitaire pourrait bien éduquer la population rurale pour un bon usage de tels comprimés.

La Pharmacie Populaire, société d'Etat de vente de médicaments au Mali, pourrait s'occuper d'approvisionner en ces comprimés antiseptiques les villes sans eau courante et les régions isolées.

En effet, ce système de désinfection chimique est plus à la portée du Mali actuellement, que l'installation et l'entretien d'un réseau d'adduction d'eau.

C'est un moyen qui pourrait et devrait prendre la même ampleur que la Nivaquinisation systématique qu'entreprennent périodiquement les Services de Santé Publique du Mali dans les villes et campagnes.

Le problème de l'eau potable avec ses incidences socio-économiques et sanitaires doit être une des priorités des plans de développement du Mali.

En effet, faute d'une bonne politique d'adduction d'eau, l'absence d'eau potable retardera tout essor économique.

Pour conclure, nous dirons avec Parmentier, à propos des eaux de boisson :

"On ne peut guère se flatter de bien connaître l'eau qu'après l'avoir examinée sous les différentes formes qu'elle est susceptible de prendre depuis la consistance la plus solide, jusqu'à la fluidité la plus parfaite, c'est-à-dire dans l'état de glace, dans l'état liquide, dans l'état vaporeux, dans l'état aériforme; je dirai presque dans l'état terreux; mais comme l'avantage le plus précieux de l'eau pour les hommes et les animaux est de leur procurer une boisson légère, capable d'apaiser agréablement la soif, il suffira de la considérer sous ce point de vue d'utilité première".

C O N C L U S I O N S

Le but de ce travail était de préciser le problème de l'eau d'alimentation en république du Mali.

Les réserves aquifères étant sous la dépendance des facteurs climatiques et hydrogéologique, une première partie a consisté en un bref rappel de ces données. Elle est suivie par des considérations sur les normes internationales admises par l'O.M.S. pour les eaux de boisson.

L'état actuel du réseau d'alimentation en eau potable est ensuite exposé en même temps que sont envisagés les projets futurs d'adduction ayant pour objet d'améliorer le réseau existant ou la mise en place de nouvelles installations.

Un chapitre, réservé aux maladies d'origine hydrique, rappelle sommairement celles de ces affections qui sont présentes au Mai en précisant leur mode de transmission. Un tableau statistique indique, pour ces dernières années, le nombre de cas constatés et le nombre de cas mortels correspondants.

La partie expérimentale a consisté à faire l'étude physico-chimique de certaines eaux du Mali actuellement utilisées pour l'alimentation. Cette étude a mis en valeur la constance de la composition physico-chimique de l'eau de Bamako, de même que sa pureté chimique. Toutefois, par rapport aux normes fixées par l'O.M.S., on doit noter une teneur en fluor insuffisante et surtout un titre excessif en fer, qui a son origine dans la nature latéritique du sol malien.

Les eaux des autres régions du Mali présentent des caractères sensiblement identiques, elles sont généralement douces ou très douces, qu'il s'agisse du bassin du Niger ou du bassin du Sénégal. Les eaux provenant de ce dernier bassin paraissent être un peu moins chargées en fer.

Une exception doit être faite pour l'eau de Taoudénit, qui présente une salinité démesurée et une teneur en fer exceptionnelle qui lui confèrent des caractéristiques plus que douteuses.

Cette étude permet de conclure que toutes les eaux examinées, celles du grand nord mises à part, présentent, du point de vue physico-chimique, des qualités qui les rendraient tout à fait propres à l'alimentation si l'on faisait abstraction de leur forte teneur en fer.

VU : Le Président de la Thèse

A. COEUR

VU et Permis d'Imprimer
Grenoble, le
LE PRESIDENT de l'UNIVERSITE

M. SOUTIF

B I B L I O G R A P H I E

Les références se rapportant aux problèmes généraux de l'hydrologie n'ont pas été retenues. Seules figurent dans cette rubrique les références ayant trait directement ou indirectement au problème malien.

Pages (*)

- H. DESCHAMPS.
  Encyclopaedia Universalis Paris 1968, vol.I, 349-50 — 3

- B.H. DIETERICH et J.M. HENDERSON.
  L'approvisionnement des villes en eau. Situation et besoins dans 75 pays en voie de développement.
  O.M.S. Genève 1964. 27

- Encyclopaedia Britannica-World Atlas W. Benton London 1963 — 6

- E. IMBEAUX.
  Essai d'hydrogéologie - Recherche, étude et captage des eaux souterraines. Dunod Paris 1930 45

- Larousse (Grand) encyclopédique Paris 1963 7

- LENFANT (Capitaine).
  Le Niger voie ouverte à notre empire africain (pages 48-57) - Hachette Paris 1903 9

- J.F. MABILEAU.
  Quelques aspects économiques, sociaux et politiques des problèmes que pose actuellement l'eau dans le monde et en France - Prod. et Probl. Pharm. 1969, 24, 478-88. 29

- A. MORETTE.
  Précis d'hydrologie, Masson Paris 1964 41

- Normes internationales pour l'eau de boisson.
  O.M.S. Genève 1965 17

- PINDARE. 1ère olympiade Ode 1/5 d'après Van RIEL.
L'eau en milieu rural centrafricain Ed. Acad. royale des Sciences d'Outre-mer (classe des sciences naturelles et médicales N.S. XVI I) Bruxelles 1964 2

- J. RENAUDET et R. GRILLOT.
Analyse bactériologique des eaux destinées à la consommation humaine. Polycop. T.P. 4ème A. Faculté de Médecine et de Pharmacie Grenoble 1970, 1-26 ... 21

- J. RODIER.
Analyse chimique et physico-chimique de l'eau 4ème éd. Dunod Paris 1971 41

- Van RIEL.
L'eau en milieu rural centrafricain Ed. Acad. Royale des Sciences d'Outre-mer (classe des sciences naturelles et médicales N.S. XVI I) Bruxelles 1964 ... 29

(*) Les pages indiquées sont celles où la référence est citée dans le texte.

TABLE DES MATIERES

Pages

- SOMMAIRE 1
- INTRODUCTION 2
- LE MALI - GENERALITES 6
  - Données climatiques 6
  - Données hydrogéologiques 9
- CONSIDERATIONS GENERALES sur les NORMES INTERNATIONALES pour les EAUX de BOISSON 17
- LE RESEAU D'EAU POTABLE AU MALI 22
- L'EAU DE BOISSON et les MALADIES D'ORIGINE HYDRIQUE au MALI 29
- ETUDE PHYSICO-CHIMIQUE de CERTAINES EAUX du MALI 38
  - Méthodes analytiques utilisées 38
  - Etude critique de nos résultats
    - . Réseau de Bamako 52
    - . Autres eaux du Mali 54
- PERSPECTIVES GENERALES 58
- CONCLUSIONS 61
- BIBLIOGRAPHIE 63